(Aus dem mediz.-poliklinischen Institut für innere Medizin der Universität Berlin.)

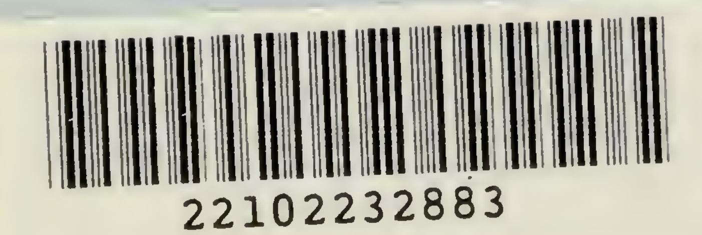
Experimentelle Studien über den aufrechten Gang.

Von

Heinrich Gerhartz.

(Mit 30 Textfiguren.)

Bonn, 1911.
[Sep]arat-Abdruck aus dem Archiv für die ges. Physiologie Bd. 138.
Verlag von Martin Hager.



(Aus dem mediz.-poliklinischen Institut für innere Medizin der Universität Berlin.)

Experimentelle Studien über den aufrechten Gang.

Von

Heinrich Gerhartz.

(Mit 30 Textfiguren.)

Der Erwerb der aufrechten Körperstellung ist bisher noch nie Gegenstand der experimentellen Forschung gewesen. Was über dieses Kapitel geschrieben ist, bezieht sich lediglich auf Spekulationen, welche die Modifikationen, die zwischen Vierfüsser und Mensch im Aufbau des Körpers bestehen, dadurch kausal zu verbinden suchten, dass sie diese im Sinne der phylogenetischen Entwicklung ohne weiteres dem Einflusse der Vertikalstellung zuschrieben. Die Geschichte der Naturwissenschaft bietet viele Beispiele dafür, dass dieser Weg, so bequem er ist, ebenso trügerisch ist. Ich habe deshalb versucht, auf dem Wege des Experimentes, möglichst frei von Vorurteilen, die Umwandlungen, die der Körper des Vierfüssers unter dem Einflusse der Vertikalstellung erleidet, zu studieren.

Eine solche Untersuchung bietet leider viele Schwierigkeiten; denn es ist notwendig, einen Körper, der wenig zweckmässig für den aufrechten Gang eingerichtet erscheint, zur Vertikalbewegung zu zwingen. Dies kann nur schrittweise und unter Vermeidung von schädigenden Überanstrengungen geschehen. Es musste deshalb von vornherein zweifelhaft sein, ob die Einflüsse, die die Vertikalstellung mit sich bringt, stark genug bleiben, diejenigen, die infolge des ablösenden Vierfüsserganges einwirken, in einem feststellbaren Betrage zu überragen. In der Tat sind die ersteren nicht durch die letzteren verdeckt worden, und es sind Transformationen eingetreten, die mir genügend gesichert erscheinen, um bekannt gegeben werden zu können.

Methodik.

Die Untersuchungen sind an zwei fast vollkommen gleichen Hunden desselben Wurfes von der sechsten Lebenswoche an 28 Wochen hindurch angestellt worden. Von diesen Hunden diente der eine als Kontrolltier. Ich kann mich leider nur auf den Vergleich dieser beiden Tiere stützen, weil die Untersuchungen so ausserordentlich mühsam und zeitraubend sind, dass es mir unmöglich ist, mehr Material zu beschaffen. Alle Ergebnisse werden deshalb unter dem Vorbehalt weiterer Bestätigung gegeben, obwohl ich die befolgte Methodik zur Gewinnung einwandfreier Resultate für ausreichend halten muss. Es wird sich auch weiter unten zeigen, dass die bei dem aufrecht gestellten Hund beobachteten Veränderungen nach unseren heutigen physikalischen und physiologischen Kenntnissen ohne Schwierigkeit dem Einflusse der Vertikalstellung zugeschrieben werden können, die Modifikationen also als solche, die nicht in der Individualität begründet liegen, wohl genügend charakterisiert sind.

Ich nenne in den folgenden Ausführungen den einen Hund „Kontrollhund", den anderen „Stehhund", obwohl er nicht nur aufrecht stehen, sondern auch aufrecht gehen musste.

Die beiden Hunde waren weibliche echte King Edward-Foxterriers, gehörten also einer Rasse an, welche die zu dem komplizierten Versuch erforderliche Intelligenz und Gelehrigkeit besitzt. Als sie am 25. Januar 1909 (Geburt am 21. Dezember 1908) in meine Hände kamen, waren sie nicht gleich gross und schwer. Sie waren aber im übrigen als Geschwister durchaus gleichgeartete Tiere. Es liess sich gleich herausfinden, dass der kleinere. buntgezeichnete Hund das beste Talent zum Stehen und Gehenlernen besass. Er wurde deshalb vom anderen Tage an allein zu den systematischen Übungen herangezogen, über die ich nachher berichten werde.

Beide Hündinnen wurden qualitativ gleich gefüttert. In der ersten Zeit erhielten sie Milch und Zwieback und etwas Fleisch, bald Reis und Fleisch und Zulagen von Knochen, später auch Hundekuchen. Ausserdem wurde Phosphor in der Form des Präparates Protylin noch eigens verabfolgt, um einen möglichst guten Knochenanwuchs herbeizuführen. Die physiologische Aufzucht der Hunde wurde noch dadurch gefördert, dass die Hunde die Futtermengen nach Belieben wählen konnten. Als es damit nicht gelang, die zwischen den beiden Hunden anfänglich vorhanden gewesene Ge-

wichtsdifferenz auszugleichen, wurden die Futtergaben des Stehhundes noch beträchtlich in diesem Sinne erhöht. Trotzdem aber behielt der Hund, wie zu erwarten stand, die schon in den ersten Lebenswochen erkennbare Entwicklungstendenz bei. Da durch den Umstand nur eine quantitative Differenz zwischen den beiden Tieren geschaffen wurde, wird hierdurch der Vergleichbarkeit nicht Eintrag getan. Es kommt ja bei unseren Untersuchungen lediglich auf die Unterschiede im Decursus des Organauswuchses an[1]).

Der Stehhund wurde systematisch an das Stehen und Gehen gewöhnt. Zunächst kam er in einen Glaszylinder, der so eng war, dass der Hund darin nur stehen und sitzen konnte. Durch Vorhalten von Knorpel und Knochen und ähnlichem wurde er in dieser Stellung so interessiert gehalten, dass er alle Müdigkeit vergass. Meist gelang es mit dieser Methode, ihn längere Zeit hindurch freistehend zu halten. Als der Glaszylinder dem Hund zu eng wurde, wurde dieser in einen grösseren Tonzylinder gesetzt. Er gewöhnte sich bald so an diese Tätigkeit, dass er in dem Zylinder stehend schlief, wobei der Kopf infolge der schnellen Ermüdung der Nackenmuskulatur auf den Zylinderrand gelegt wurde. Als der Hund auch aus diesem Gefäss herausgewachsen war, blieb er, mit dem Halsband an einem Stuhlrücken befestigt bzw. in dem Laufstuhl, frei stehen.

---

1) Hinsichtlich der Entwicklung der jungen Hunde habe ich noch einige Details notiert. In den ersten Tagen des April 1909, also in der 16. Lebenswoche, konnten die ersten Pigmentierungen (ausser den bei der Geburt mitgebrachten und bis dahin unverändert gebliebenen) an den Ohren, den Augen, an der Nase, am Kinn und an den Genitalien bemerkt werden. Sie breiteten sich von da an immer weiter aus. Ich habe auch auf das Erwachen des Geschlechtstriebes bei den Hunden mein Augenmerk gerichtet. Es fiel mir schon am 4. Februar 1909 (7. Lebenswoche) auf, dass die beiden Hunde, wenn sie lange miteinander gespielt hatten, gleichsam als Höhepunkt ihres Spieles, sich gegenseitig die Genitalien beleckten und hineinbissen. In den ersten Tagen des Juli 1909 (28. Woche) kamen die beiden Hündinnen in die Gesellschaft eines männlichen chinesischen Foxterriers mit dem Effekt, dass in den nächsten Tagen ein deutliches Erwachen des Geschlechtstriebes an den Manieren, die die Hündinnen gegeneinander zur Schau trugen, festzustellen war.

Die Zähne entwickelten sich bei den beiden Hunden vollständig gleich. In der 9. Lebenswoche waren bei beiden Tieren je oben und unten die Schneidezähne, Eckzähne und je zwei Backzähne vorhanden. In der 22. Woche standen alle Zähne da.

Mit den Gehübungen wurde am 17. März bei dem nun zwölf Wochen alten Stehhund begonnen. Zunächst wurde alle 10 Minuten eine Pause von 1—2 Minuten gemacht, am folgenden Tage jede Tour auf 15 Minuten Dauer erhöht und so weiter fortgefahren, so dass der Hund am 22. März schon eine halbe Stunde in einer Tour zurückzulegen vermochte. In der Tabelle 1, die den besten Überblick über die geübte Methodik gibt, sind die genauen Zeiten für jeden Tag angegeben. Es entsprechen im Durchschnitt 10 Minuten Gehen 349 m. Daraus lässt sich entnehmen, dass im Maximum ca. 1430 m in einer Tour von dem Hunde in aufrechter Stellung begangen werden konnten. Dabei machte sich aber einmal — am 6. Juni nach 20 Gehtagen — insofern eine Störung bemerkbar, als die Sohlenballen anfingen zu bluten. Die Komplikation erzwang natürlich eine Pause in den Übungen. Im übrigen wurde aber stets besonders darauf Bedacht genommen, dass der Hund nicht übermüdet wurde. In der Zeit, in der er nicht übte, konnte er sich mit seiner Schwester austoben.

Tabelle 1.

Steh- und Gehzeiten.

Lfde. Nr.	Datum 1909	Gestanden	Gegangen Min.	In vertikaler Stellung gewesen
1	26. Jan.[1]	erste kurze Übungen	—	—
2	27. „	$1^h + 1^h$	—	2^h
3	30. „	$45' + 30'$	—	$1^h\ 15'$
4	31. „	$1^h + 15'$	—	$1^h\ 15'$
5	1. Febr.	$30' + 30'$	—	1^h
6	2. „	$45' + 20' + 1^h + 30' + 30'$	—	$3^h\ 5'$
7	3. „	$1^h + 45'$	—	$1^h\ 45'$
8	4. „	$1^h\ 15' + 1^h\ 40' + 40'$	—	$3^h\ 35'$
9	5. „	$1^h + 1^h + 1^h + 40'$	—	$3^h\ 40'$
10	6. „	$50'$	—	$50'$
11	7. „	$1^h\ 15' + 1^h\ 10' + 1^h\ 5'$	—	$3^h\ 30'$
12	8. „	$2^h\ 12' + 1^h + 1^h\ 20'$	—	$4^h\ 32'$
13	9. „	$1^h\ 30'$	—	$1^h\ 30'$
14	10. „	$1^h\ 50' + 1^h\ 10' + 45' + 23'$	—	$4^h\ 8'$
15	11. „	$1^h\ 38' + 1^h\ 5' + 40' + 1^h\ 15'$	—	$4^h\ 38'$
16	12. „	$2^h\ 45' + 45' + 1^h\ 26' + 45' + 19'$	—	6^h
17	13. „	$1^h\ 30' + 1^h + 1^h\ 10' + 50'$	—	$4^h\ 30'$
18	14. „	$2^h\ 41'$	—	$2^h\ 41'$
19	15. „	$1^h\ 30' + 2^h + 1^h + 1^h\ 15' + 20'$	—	$6^h\ 5'$
20	16. „	$2^h\ 7' + 2^h\ 25' + 1^h\ 15' + 38' + 15'$	—	$6^h\ 40'$
21	17. „	$45' + 1^h\ 40' + 1^h\ 20' + 20' + 1^h\ 30'$	—	$5^h\ 35'$

1) 37. Lebenstag.

Lfde. Nr.	Datum 1909	Gestanden	Gegangen Min.	In vertikaler Stellung gewesen
22	18. Febr.	$15' + 2^h\,10' + 1^h\,12' + 1^h$	—	$4^h\,37'$
23	19. „	$1^h\,40' + 1^h + 1^h$	—	$3^h\,40'$
24	20. „	$1^h\,12' + 1^h\,45' + 1^h + 48' + 1^h$	—	$5^h\,45'$
25	21. „	$1^h\,6' + 49' + 1^h\,5' + 1^h\,24' + 5'$	—	$4^h\,29'$
26	22. „	$1^h\,43' + 1^h + 1^h\,15' + 1^h\,30 + 2^h\,5'$	—	$7^h\,33'$
27	23. „	$1^h\,25 + 1^h\,41' + 1^h\,39'$	—	$4^h\,45'$
28	24. „	$45'$	—	$45'$
29	25. „	$1^h\,16' + 1^h\,23' + 48'$	—	$3^h\,27'$
30	26. „	$2^h\,4' + 1^h\,5' + 1^h\,10' + 1^h\,18'$	—	$5^h\,37'$
31	27. „	$1^h\,45' + 1^h\,20' + 43' + 1^h\,14'$	—	$5^h\,2'$
32	28. „	$47' + 1^h\,5' + 37' + 57'$	—	$3^h\,26'$
33	1. März	$1^h\,10' + 1^h\,6' + 24' + 50' + 1^h\,30'$	—	5^h
34	2. „	$1^h\,24' + 40' + 1^h\,14' + 1^h\,11' + 28' + 2^h\,34'$	—	$7^h\,28'$
35	3. „	$2^h + 22' + 1^h\,5'$	—	$3^h\,27'$
36	4. „	$3^h + 1^h\,12'$	—	$4^h\,12'$
37	5. „	$2^h + 2^h$	—	4^h
38	6. „	$1^h + 1^h\,22' + 1^h\,25'$	—	$3^h\,47'$
39	7. „	$1^h\,17' + 46' + 25' + 1^h$	—	$3^h\,28'$
40	8. „	$2^h\,8' + 1^h\,15' + 1^h\,5'$	—	$4^h\,28'$
41	9. „	$1^h\,10' + 2^h + 1^h\,15'$	—	$4^h\,25'$
42	10. „	$1^h\,45' + 1^h\,10' + 1^h\,10'$	—	$4^h\,5'$
43	11. „	—	—	—
44	12. „	$1^h\,5' + 1^h\,30' + 20'$	—	$2^h\,55'$
45	13. „	$1^h\,30'$	—	$1^h\,30'$
46	14. „	1^h	—	1^h
47	15. „	$1^h + 25'$	—	$1^h\,25'$
48	16. „	$1^h\,16' + 51' + 1^h + 1^h\,30' + 46'$	—	$5^h\,23'$
49	17. „	$1^h\,15' + 16' + 47'$	30	$2^h\,48'$
50	18. „	$1^h\,15' + 30'$	15 + 15	$2^h\,15'$
51	19. „	$1^h\,44' + 1^h\,25' + 25' + 1^h\,4'$	20	$4^h\,58'$
52	20. „	$1^h + 53'$	—	$1^h\,53'$
53	21. „	$1^h\,10' + 30' + 1^h\,55'$	5 + 15	$3^h\,55'$
54	22. „	$30' + 40' + 15'$	30	$1^h\,55'$
55	23. „	$1^h\,39' + 58' + 5' + 40' + 17'$	4 + 4 + 30	$4^h\,17'$
56	24. „	$1^h\,22' + 38' + 24'$	11 + 25	3^h
57	25. „	$1^h\,8' + 1^h\,12' + 20'$	35	$3^h\,15'$
58	26. „	$1^h\,8' + 1^h\,18' + 20'$	15 + 35	$3^h\,36'$
59	27. „	$1^h\,5' + 5' + 1^h\,3'$	15 + 10	$2^h\,38'$
60	28. „	$1^h\,5'$	12	$1^h\,17'$
61	29. „	$50'$	35 + 15 + 20	2^h
62	30. „	$1^h\,17' + 7'$	20 + 30 + 5	$2^h\,19'$
63	31. „	1^h	30 + 20	$1^h\,50'$
64	1. April	—	—	—
65	2. „	—	30	$30'$
66	3. „	—	30	$30'$
67	4. „	$1^h\,8'$	35 + 25	$2^h\,8'$
68	5. „	$49' + 1^h + 55'$	39	$3^h\,23'$
69	6. „	$50' + 30'$	—	$1^h\,20'$
70	7. „	$1^h + 1^h + 1^h + 1^h$	30	$4^h\,30'$
71	8. „	$1^h + 1^h + 1^h + 1^h + 30'$	—	$4^h\,30'$
72	9. „	$1^h + 1^h + 1^h + 1^h$	—	4^h
73	10. „	$1^h + 1^h + 1^h + 1^h + 15'$	—	$4^h\,15'$
74	11. „	$1^h + 1^h + 1^h + 1^h + 30'$	—	$4^h\,30'$
75	12. „	$1^h + 1^h + 1^h + 1^h$	—	4^h
76	13. „	$1^h + 1^h + 1^h + 15'$	—	$3^h\,15'$
77	14. „	$1^h + 1^h$	—	2^h

Lfde. Nr.	Datum 1909	Gestanden	Gegangen Min.	In vertikaler Stellung gewesen
78	15. April	$1^h + 1^h + 1^h + 1^h + 10'$	—	$4^h\ 10'$
79	16. „	$1^h + 1^h + 1^h + 1^h$	—	4^h
80	17. „	$1^h + 1^h + 1^h$	—	3^h
81	18. „	$1^h + 1^h$	—	2^h
82	19. „	$1^h + 1^h + 1^h + 1^h$	—	4^h
83	20. „	$1^h + 1^h + 1^h + 55'$	—	$3^h\ 55'$
84	21. „	$1^h + 1^h + 1^h + 1^h$	—	4^h
85	22. „	$1^h\ 3' + 1^h\ 55' + 1^h$	—	$3^h\ 58'$
86	23. „	$1^h\ 22' + 1^h\ 5' + 1^h\ 34' + 55'$	—	$4^h\ 56'$
87	24 „	$1^h + 33' + 1^h\ 30' + 16'$	—	$3^h\ 19'$
88	25. „	$1^h\ 30' + 1^h\ 30' + 1^h$	—	4^h
89	26. „	$1^h\ 10' + 50' + 1^h\ 30 + 30'$	—	4^h
90	27. „	$1^h\ 10' + 1^h\ 48' + 1^h\ 36'$	—	$4^h\ 34'$
91	28. „	$1^h + 1^h\ 20' + 53' + 1^h\ 30'$	—	$4^h\ 43'$
92	29. „	$1^h\ 23' + 1^h + 45'$	—	$3^h\ 8'$
93	30. „	$1^h\ 53' + 1^h\ 30' + 1^h\ 30'$	—	$4^h\ 53'$
94	1. Mai	$1^h + 2^h + 1^h\ 35'$	—	$4^h\ 35'$
95	2. „	$1^h\ 7' + 1^h\ 27' + 1^h\ 10'$	—	$3^h\ 44'$
96	3. „	$1^h\ 30' + 1^h + 1^h\ 35'$	—	$4^h\ 5'$
97	4. „	$1^h\ 38' + 1^h + 1^h\ 8'$	—	$3^h\ 46'$
98	5. „	$1^h\ 22' + 30' + 56'$	—	$2^h\ 48'$
99	6. „	$53' + 1^h + 1^h\ 22'$	—	$3^h\ 15'$
100	7. „	$55' + 1^h\ 20'$	—	$2^h\ 15'$
101	8. „	$1^h\ 20' + 1^h + 20' + 1^h\ 51'$	—	$4^h\ 31'$
102	9. „	$1^h\ 10'$	30	$1^h\ 40'$
103	10. „	$1^h\ 3' + 1^h\ 40' + 1^h\ 4'$	20	$4^h\ 7'$
104	11. „	1^h	—	1^h
105	12. „	$1^h\ 30' + 43' + 1^h\ 30'$	—	$3^h\ 43'$
106	13. „	$1^h\ 5' + 1^h\ 10' + 1^h\ 36'$	—	$3^h\ 51'$
107	14. „	$1^h\ 12' + 1^h + 1^h + 17'$	30 + 25	$4^h\ 24'$
108	15. „	$1^h\ 49' + 1^h$	30 + 20	$3^h\ 39'$
109	16. „	$1^h\ 48' + 30'$	35	$2^h\ 53'$
110	17. „	$1^h\ 15' + 1^h$	—	$2^h\ 15'$
111	18. „	$1^h\ 50' + 1^h + 25'$	41	$3^h\ 56'$
112	19. „	$1^h + 1^h\ 5' + 30'$	30	$3^h\ 5'$
113	20. „	$58' + 48' + 1^h + 1^h$	32	$4^h\ 18'$
114	21. „	$1^h\ 10' + 1^h\ 39' + 40' + 45' + 14'$	13	$4^h\ 41'$
115	22. „	$2^h\ 8' + 27' + 1^h\ 2' + 1^h\ 5'$	31 + 30	$5^h\ 43'$
116	23. „	$1^h + 1^h + 23' + 1^h\ 3'$	35	$4^h\ 1'$
117	24. „	$1^h\ 7' + 23' + 1^h + 1^h + 1^h$	30	5^h
118	25. „	$1^h\ 3' + 1^h\ 21' + 1^h\ 41' + 17'$	30	$4^h\ 52'$
119	26. „	$1^h\ 54' + 1^h\ 48'$	40	$4^h\ 22'$
120	27. „	$1^h\ 35' + 1^h\ 27' + 1^h\ 38'$	—	$4^h\ 40'$
121	28. „	$1^h\ 2' + 1^h + 30' + 39'$	30	$3^h\ 41'$
122	29. „	$1^h\ 18' + 1^h$	30	$2^h\ 48'$
123	30. „	$1^h\ 20' + 1^h + 1^h\ 2'$	—	$3^h\ 22'$
124	31. „	$1^h\ 34' + 1^h\ 44' + 1^h\ 1'$	30	$4^h\ 49'$
125	1. Juni	$1^h\ 27' + 1^h + 1^h\ 45' + 7' + 11'$	31	$5^h\ 1'$
126	2. „	$2^h\ 40' + 1^h\ 10' + 1^h$	40	$5^h\ 30'$
127	3. „	$48' + 40'$	—	$1^h\ 28'$
128	4. „	$1^h\ 17' + 2^h\ 2' + 2^h\ 11'$	32	$6^h\ 2'$
129	5. „	$2^h + 1^h\ 5' + 1^h\ 19^h + 30'$	35	$5^h\ 29'$
130	6. „	$1^h\ 46' + 1^h\ 18' + 1^h$	19	$4^h\ 23'$
131	7. „	$2^h\ 17' + 1^h + 35' + 1^h\ 15'$	—	$5^h\ 7'$
132	8. „	$40' + 1^h\ 50' + 1^h + 1^h\ 14' + 1^h$	—	$5^h\ 44'$
133	9. „	$1^h + 1^h + 1^h + 1^h\ 4' + 54'$	—	5^h

Lfde. Nr.	Datum 1909	Gestanden	Gegangen Min.	In vertikaler Stellung gewesen
134	10. Juni	$1^h 45' + 1^h + 1^h + 1^h$		$4^h 45'$
135	11. „	$1^h 18' + 1^h + 1^h + 1^h 45'$	35	$5^h 38'$
136	12. „	$2^h + 1^h + 1^h$	—	4^h
137	13. „	$18' + 1^h 50'$	—	$2^h 8'$
138	14. „	$1^h 31' + 1^h + 1^h + 1^h + 6'$	26	$5^h 3'$
139	15. „	$2^h 4' + 1^h + 1^h 56'$	—	5^h
140	16. „	$2^h + 1^h + 18' + 29' + 29' + 1^h 16'$	40	$6^h 12'$
141	17. „	$1^h + 1^h 33' + 1^h 14' + 53'$	25	$5^h 5'$
142	18. „	$1^h 30' + 1^h 29' + 1^h 43' + 1^h$	35	$6^h 17'$
143	19. „	$1^h 39' + 1^h + 39'$	—	$3^h 18'$
144	20 „	$51' + 1^h 30' + 42' + 1^h 17'$	—	$4^h 20'$
145	21. „	$1^h 45' + 1^h 29' + 1^h 8'$	41	$5^h 3'$
146	22. „	$44' + 1^h + 1^h + 1^h 7' + 14'$	30	$4^h 35'$
147	23. „	$2^h + 1^h 5' + 35' + 25'$	30	$4^h 35'$
148	24. „	$1^h 4' + 1^h 11' + 44' + 1^h 30'$	10 + 30	$5^h 9'$
149	25. „	$1^h 48' + 1^h 30' + 1^h 36' + 1^h 18'$	30	$6^h 42'$
150	26. „	$1^h 34' + 1^h 36' + 1^h 23' + 1^h$	—	$5^h 33'$
151	27. „	$1^h 6' + 1^h 58' + 39'$	30	$4^h 13'$
152	28. „	$51' + 1^h 25' + 1^h 56'$	35	$4^h 47'$
153	29. „	$1^h 23' + 1^h + 1^h 15' + 1^h + 10'$	16 + 20	$5^h 24'$
154	30. „	$3^h + 1^h + 1^h 20'$	30	$5^h 50'$
155	1. Juli	$37' + 2^h 10' + 1^h 36'$	35	$4^h 58'$
156	2. „	$2^h 5' + 1^h 15' + 2^h 5' + 1^h 25'$	25	$7^h 15'$
157	3. „	$1^h 36' + 1^h 41' + 1^h 2' + 22' + 35'$	30	$5^h 46'$
158	4. „	$1^h + 57' + 1^h 24'$	30	$3^h 51'$
159	5. „	$1^h 40 + 1^h 2' + 1^h 32'$	—	$4^h 14'$
160	6. „	$47' + 1^h 28' + 1^h 2' + 2^h 32'$	30	$6^h 19'$
161	7. „	$2^h 7' + 1^h 30' + 1^h 54'$	—	$5^h 31'$
162	8. „	$2^h 1' + 1^h + 2^h 45'$	15	$6^h 1'$
163	9. „	$1^h 35' + 2^h 4' + 2^h 1'$	17	$5^h 57'$
164	10. „	$2^h 2' + 1^h 20' + 1^h$	45	$5^h 7'$
165	11. „	$48' + 2^h + 1^h 25'$	35	$4^h 48'$
166	12. „	$2^h + 1^h 15' + 1^h$	—	$4^h 15'$
167	13. „	$2^h + 1^h + 1^h 5' + 1^h 5' + 1^h 7'$	30	$6^h 47'$
168	14. „	$2^h + 2^h$	5	$4^h 5'$
169	15. „	$2^h 7' + 1^h + 1^h$	30	$4^h 37'$
170	16. „	$2^h 15' + 2^h + 1^h$	—	$5^h 15'$
171	17. „	$2^h 13' + 1^h + 1^h 5'$	—	$4^h 18'$
172	18. „	$2^h + 1^h 43' + 29'$	30	$4^h 42'$
173	19. „	$2^h 5' + 1^h 30' + 1^h 28'$	—	$5^h 3'$
174	20. „	$2^h 37' + 1^h 5' + 1^h 35'$	—	$5^h 17'$
175	21. „	$2^h 5' + 1^h + 1^h 18'$	—	$4^h 23'$
176	22. „	$1^h 30' + 2^h + 1^h$	30	5^h
177	23. „	$1^h 53' + 30' + 1^h 18' + 1^h 17'$	—	$4^h 58'$
178	24. „	$2^h + 1^h + 50'$	—	$3^h 50'$
179	25. „	$2^h 9' + 2^h 3'$	—	$4^h 12'$
180	26. „	$2^h + 2^h 5'$	—	$4^h 5'$
181	27. „	$1^h 10' + 2^h 7' + 1^h 13'$	30	5^h
182	28. „	$2^h 10' + 1^h 5' + 2^h 22'$	30	$6^h 7'$
183	29. „	$2^h 29' + 1^h 8' + 1^h 42'$	—	$5^h 19'$
184	30. „	$2^h 1' + 1^h 10' + 1^h$	—	$4^h 11'$
185	31. „	$2^h 8' + 2^h + 50'$	—	$4^h 58'$
186	1. Aug.	$2^h 4' + 1^h 4' + 1^h$	—	$4^h 8'$
187	2. „	$2^h + 1^h + 1^h$	—	4^h
188	3. „	$1^h 40' + 1^h 18' + 42'$	30	$4^h 10'$
189	4. „	$2^h 5' + 1 + 1$	30	$4^h 35'$

Lfde. Nr.	Datum 1909	Gestanden	Gegangen Min.	In vertikaler Stellung gewesen
190	5. Aug.	$2^h\ 27' + 1^h + 1^h\ 5'$	—	$4^h\ 32'$
191	6. "	$2^h + 2^h + 1^h\ 5'$	—	$5^h\ 5'$
192	7. "	$1^h\ 34' + 1^h\ 2' + 2^h\ 15'$	30	$5^h\ 21'$
193	8. "	$2^h + 1^h + 1^h\ 30'$	—	$4^h\ 30'$
194	9. "	$2^h + 1^h + 1^h\ 40'$	—	$4^h\ 40'$
195	10. "	$1^h\ 40' + 1^h\ 10' + 1^h\ 14'$	15 + 25	$4^h\ 44'$
196	11. "	$2^h\ 32' + 1^h$	—	$3^h\ 32'$

Bei den ersten Gehversuchen war das Tier an der Hand geführt worden. Das ging natürlich auf die Dauer nicht. Es wurde deshalb



Fig. 1. Stehhund im Laufstuhl (134. Lebenstag).

dazu übergegangen, den Hund in einen mit Rollen versehenen Laufstuhl, der an einer Schnur gezogen wurde und in dem der Hund nach allen Seiten hin ungehindert gehen konnte, zu stellen. Fig. 1 zeigt diese Methode.

Beide Hunde wurden zu Beginn der 34. Lebenswoche (11. August) mit Cyankali getötet. Die Sektion fand sofort nach dem Tode statt. Nachdem die Lage der inneren Organe beobachtet und photographiert und ihre Verschieblichkeit untersucht war, wurden die meisten Muskel präpariert, in Wiegegläser gebracht und gewogen. Zuletzt wurden die Hunde skelettiert.

Der Ablauf des Wachstums.

Die beiden Hunde wurden jede Woche gewogen und ungefähr alle vier Wochen — am 59., 103., 126., 152., 178. und 203. Lebenstage — zu gleicher Zeit gewogen und gemessen. Die Messungen betrafen folgende Feststellungen:

1. Höhe. Die Hunde wurden an einer vertikalen Wand auf die Hinterbeine aufgestellt, ihre Schnauze so weit als möglich hochgehoben und nun mit dem Zentimetermaass die vertikale Höhe von der Fusssohle bis zur Schnauzenspitze abgelesen.
2. Horizontale Länge. Bei dieser Messung nahmen die Hunde die normale Stellung auf allen Vieren ein. Der Kopf war geradeaus gerichtet. Es wurde vom Ansatz des Schwanzes bis zum äussersten Ende der Schnauze gemessen.
3. Brustweite. Sie wurde bei der gleichen Stellung wie eben, dicht an dem von den Vorderbeinen und dem Rumpf gebildeten Winkel, also dicht unter der Achsel, festgestellt.
4. Halsumfang. Er wurde an der dünnsten Stelle ermittelt, wobei das Messband so locker angelegt wurde, dass das Fell sich nicht in Falten legte.
5. Vorderbeinlänge. Es wurde vom Olecranon bis zum distalsten Phalanxende bei maximal gestrecktem Fuss gemessen.
6. Hinterbeinlänge. Die Entfernung vom Knie bis zum distalsten Fussende wurde festgestellt.

Die Messungen wurden jedesmal von einer zweiten Person kontrolliert.

Am 40., 48., 104. und 191. Lebenstage wurden die Hunde in verschiedenen Stellungen photographiert; am 40., 48., 107. Lebenstage und sofort nach dem Tode wurden auch Röntgenaufnahmen hergestellt, um eine fortlaufende Kontrolle über die später zu beschreibenden Veränderungen zu haben. Im ganzen stützt sich die folgende Untersuchung ausser auf die abgebildeten noch auf 44 photographische Aufnahmen.

Werden die absoluten Zahlen der Messungen in prozentuale Grössen (Differenz der Werte zweier aufeinanderfolgenden Messungen, dividiert durch den letzterhaltenen Wert) umgerechnet, so ist es leicht, einen Überblick über die Unterschiede im Wachstumsablauf zu gewinnen. Es ist da zunächst — vgl. Tabelle 2 — zu beobachten, dass das Grössenwachstum bei dem Stehhund in der ersten Zeit etwas zurückblieb. Diese Retardation wurde aber bald überkompensiert; denn der Zunahmewert liegt für die Folgezeit immer relativ über dem des Kontrollhundes.

Tabelle 2.

Prozentuale Zuwachswerte des Steh- und Kontrollhundes.

	Stehhund %	Kontrollhund %	Stehhund %	Kontrollhund %	Stehhund %	Kontrollhund %	Stehhund %	Kontrollhund %	Mittlere Wachstumsintensität Steh-hund %	Kontr.-hund %
Vertikale Höhe . .	25,0	30	8,4	5,7	9,9	7,0	4,3	2,9	11,9	11,4
Horizontal gemessene Rumpflänge	27,0	29,5	8,2	1,6	4,9	1,6	3,0	1,6	10,8	8,6
Brustweite	16,5	15	5,4	5,3	4,1	5,3	3,7	2,4	7,4	7,0
Halsumfang (dünnste Stelle.	12,0	10	2,4	4,5	4,8	9,1	12,0	4.0	7,8	6,9
Vorderbeinlänge (Ellbog. bis Zehen)	34,0	33	—	—	10,0	8,0	2,3	7,0	15,4	16,0
Hinterbeinlänge (Knie bis Zehen).	17,4	24	14,8	4,9	3,7	8,0	—	—	12,0	12,3
Mittel									10,9	10,4
Lebenstag	59.—103.		103.—126.		126.—152.		152.—178.		59.—178.	
Tätigkeit	Hauptsächlich Stehen, zuletzt einen halben Monat lang Gehen		Hauptsächlich Stehen		hauptsächlich Stehen, zuletzt eine Weile lang Gehen		Stehen und Gehen zugleich			

Auf das Längenwachstum der vorderen Extremitäten hatte die Lageänderung fast keinen Einfluss. Es ist nur zu beobachten, dass gegen Abschluss der Untersuchungen beim Stehhund das Wachstum der Vorderbeine etwas zurückbleibt. Wahrscheinlich ist diese geringe Differenz darauf zurückzuführen, dass beim Stehhund das Wachstum der Knochen etwas früher abgeschlossen wurde.

Grössere Unterschiede sind an den mehr beanspruchten hinteren Extremitäten zutage getreten. Hier wuchs der Stehhund anfangs langsamer, dann besser. Zuletzt, kurz vor seinem Abschlusse, blieb das Wachstum, wahrscheinlich infolge der vorangegangenen intensiveren Wachstumstendenz, wieder zurück. Es war also überhaupt ein bestimmter Einfluss des Gehens oder Stehens auf das Endergebnis des Längenwachstums der Extremitäten nicht zu erkennen.

Der hauptsächlich den Rumpf betreffende Messungswert (horizontale Länge) wuchs im Beginn der Untersuchungen bei den beiden Hunden gleich stark. Dann aber wuchs der aufrechtgehende Hund nicht unbeträchtlich mehr in die Länge, während die Brustweite sich bei den beiden Hunden relativ gleich vergrösserte. Es handelt sich aber hier lediglich um relative Werte der Zu- und Abnahme, so dass noch zu untersuchen bleibt, ob die Vergrösserung des Rumpfes dem Thorax- oder Lendenteil oder kranialen Abschnitt angehört. Fest steht bisher nur, dass eine Umformung des Thorax in dem Sinne statthat, dass der Stehhund einen relativ grösseren Sterno-vertebral-Durchmesser erhält.

Es ist bemerkenswert, dass die Unterschiede zwischen den beiden unter dem Einflusse so verschiedener Beanspruchung stehenden Hunden fast lediglich in einer zeitweisen Verzögerung und Beschleunigung des Wachstums[1]) zum Ausdrucke kommen, die jeweilige Geschwindigkeit des Auswuchses der Komponenten des

---

1) Diese Beobachtung wurde auch von Fuld gelegentlich einer experimentellen Untersuchung im Roux'schen Institut, die Hunde, denen die vorderen Extremitäten entfernt worden waren, betraf, gemacht. Diese Arbeit, die mir erst nach Abschluss der meinigen zu Gesicht kam, ist leider für unsere Fragestellung nicht zu verwenden, da die Hunde hauptsächlich hüpfende, känguruhartige Bewegungen machten. Ein Teil der Hunde „richtete wohl den Rumpf auf, wenn man in den Stall kam, hatte aber nicht viel Gelegenheit und Veranlagung, sich hüpfend zu bewegen". Eine ohne Vorderbeine geborene Ulmer Dogge bewegte sich für gewöhnlich auf dem Bauche liegend vorwärts, erhob sich aber auch oft, wenn sie gerufen oder gefüttert wurde, auf die Hinterpfoten auf. Andere hüpften mehr. „In der normalen Haltung (bereit zur Lokomotion) lagen die Oberschenkel fast horizontal dem Bauche an . . ." „Sehr häufig arbeiteten die Beine geradezu alternierend, wobei die Brust aufliegend blieb und eine watschelnd-schiebende Bewegung, ähnlich dem Rutschen der Kinder, resultierte. Zuweilen wurde auch die Schnauze (statt der Brust) als dritter Unterstützungspunkt bei der Fortbewegung gewählt." (E. Fuld, Über Veränderungen der Hinterbeinknochen von Hunden infolge Mangels der Vorderbeine. Arch. f. Entwicklungsmech. Bd. 11 S. 1—65. 1901.)

Organismus also von funktioneller Inanspruchnahme, der Gesamteffekt aber von inneren Gesetzen abhängig ist. Die sich hierin dokumentierende innere Übereinstimmung zwischen den beiden Hunden hinsichtlich der totalen Wachstumsintensität spricht m. E. sehr für die Zuverlässigkeit der Einzelmessungen und der geübten Methodik überhaupt.



Fig. 2. Stehhund.



Fig. 3. Kontrollhund.

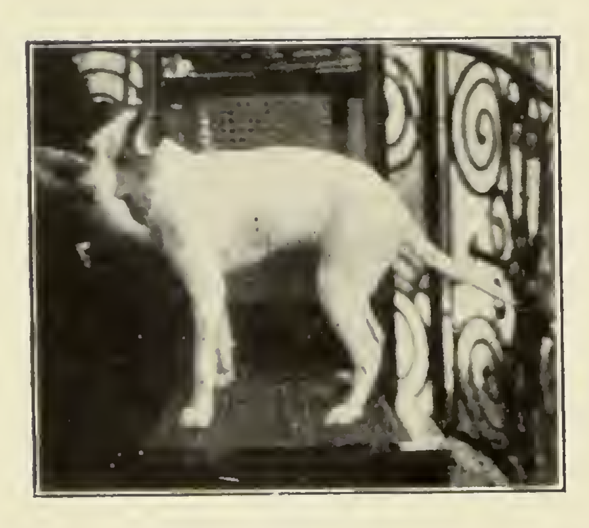


Fig. 4. Stehhund.



Fig. 5. Kontrollhund.

Seitenansicht der beiden Hunde (191. Lebenstag).

Die Figg. 2—5 einschliesslich gestatten eine Kontrolle des Gesagten, soweit die Messungen an Photographien, welche die sagittale Ebene der Tiere in ihren Konturen repräsentieren, überhaupt dafür herhalten können. Die Ausmessungen, die in der Tabelle 3 für Fig. 2 und 3, in Tabelle 4 für Fig. 4 und 5 prozentual umgerechnet sind, lassen wiederum mit einiger Sicherheit erkennen, dass zunächst die Hinterbeinlänge bei beiden Hunden in demselben Verhältnis zur

Totallänge steht, die Brustbreite im sterno-vertebralen Durchmesser bei dem Stehhund grösser ist als beim Kontrollhund.

Tabelle 3.

Messungen (sagittale Ebene) an den Photographien (Fig. 2 und 3) der aufrecht gestellten Hunde.

	Stehhund	Kontroll-hund
Totale Höhe vom Scheitel bis zur Sohle	100	100
Rumpflänge-Abstand vom prominentesten Punkte der vorderen Thoraxkontur bis zum Schnittpunkt der Bauchkontur mit der vorderen Kontur des Oberschenkels	31,2 %	28,3 %
Maximale Brustbreite	19,4 %	18,2 %
Hinterbeinlänge-Abstand vom Schnittpunkt der unteren Schwanzkontur mit der hinteren Oberschenkelkontur bis zur Fusssohle	33,3 %	33,3 %

Tabelle 4.

Brustbreite (sagittale Ebene), an der Photographie der in natürlicher Stellung befindlichen Hunde (Fig. 4 und 5) gemessen.

	Stehhund	Kontroll-hund
Körperlänge-Abstand von der prominentesten Stelle der vorderen Brustkontur bis zu derjenigen der Gesässkontur	100	100
Maximale Brustbreite	46,8 %	38,5 %.

Es fragt sich nun, ob der Rumpf und eventuell welcher Teil des Rumpfes, Thorax oder Lendenteil, beim Stehhund modifiziert wurde. Für diese Untersuchung dürften am zweckmässigsten zunächst die Roentgenbilder, die ja die zuverlässigste und vielseitigste Übersicht über den Rumpfaufbau geben, herangezogen werden. Diese Aufnahmen — siehe Fig. 7—9 — wurden sofort nach dem Tode der Hunde (235. Tag nach der Geburt) in den beiden üblichen Durchmessern hergestellt. In der Tabelle 5 sind die wichtigsten relativen Beziehungen, die sich daraus ablesen lassen, zusammengestellt, wobei vom Stand der Zwerchfellkuppe ausgegangen wurde. Bei diesem Verfahren gibt die Tabelle direkt an, dass beim Stehhund der Thorax unten (transversaler Durchmesser) schmäler, der Lendenteil des Rumpfes kürzer ist als bei dem Kontrollhund. Ohne Zweifel haftet nun aber diesem Vorgehen infolge der Möglich-

Tabelle 5.

Rumpfmessungen an den in ventro-dorsaler Strahlenrichtung aufgenommenen Röntgenbildern.

(Zu Fig. 6 und 7 proportionale Angaben.)

	Stehhund %	Kontrollhund %
Abstand von der Zwerchfellkuppe bis zum kranialen Ende des Thorax (Thoraxteil)	100	100
Maximale transversale Breite der unteren Thoraxapertur	102	124
Abstand von der Beckenschaufelhöhe bis zur Zwerchfellkuppe (Lendenteil)	144	197

keit, dass infolge einer Differenz in den Respirationsphasen oder aus anderen Gründen bei den beiden Hunden Unterschiede im Stand der Zwerchfellkuppe bestehen können, eine gewisse Unsicherheit an,

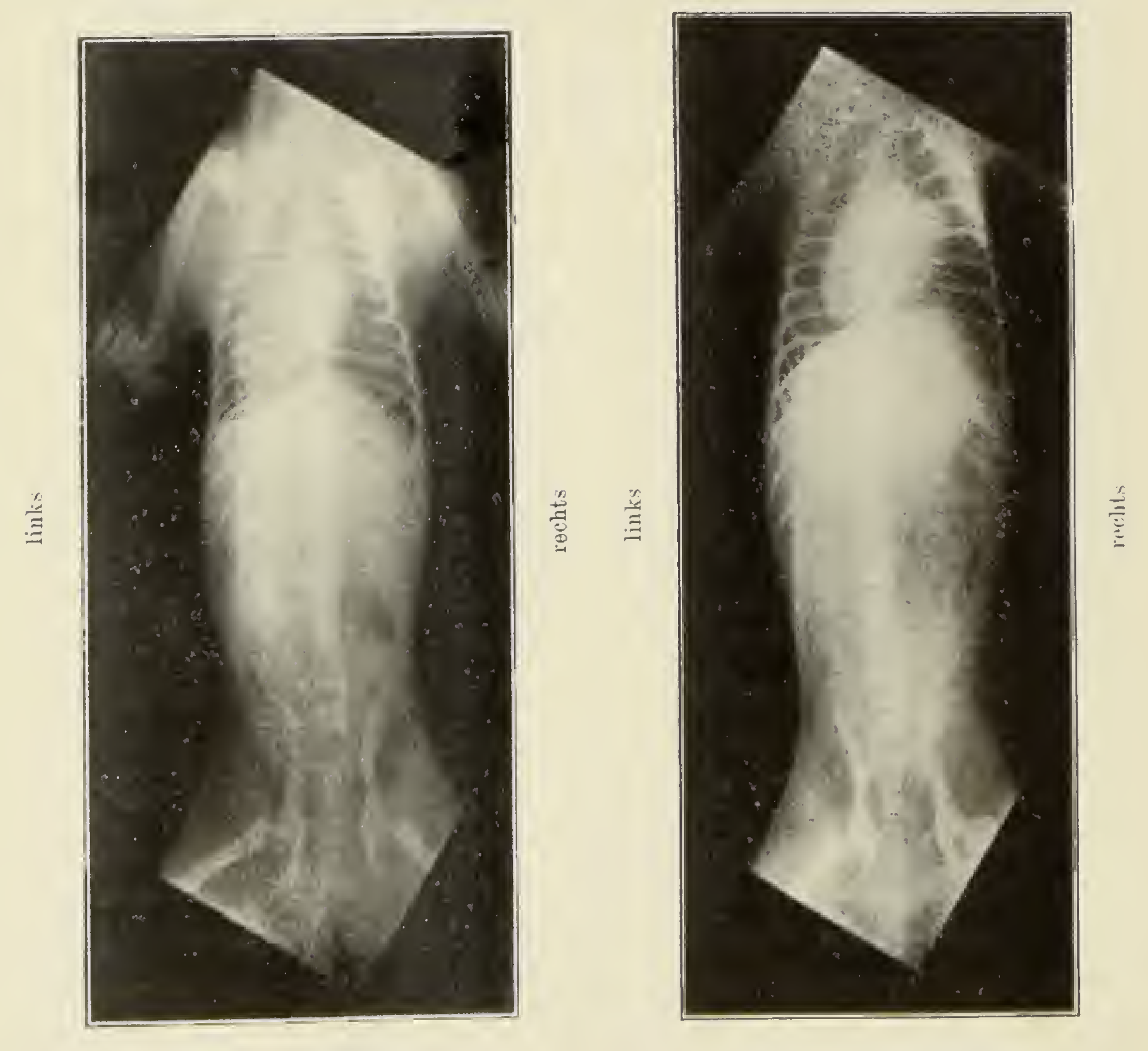


Fig. 6. Stehhund. Fig. 7. Kontrollhund.

Röntgenbilder (ventro-dorsale Strahlenrichtung).

so dass es durchaus notwendig ist, am Skelett die endgültig entscheidende Kontrolle zu üben. Zu diesem Zwecke wurden auf der ventralen Seite die Körper der fünf obersten Brustwirbel, der folgenden unteren Brustwirbel und der drei ersten Lendenwirbel

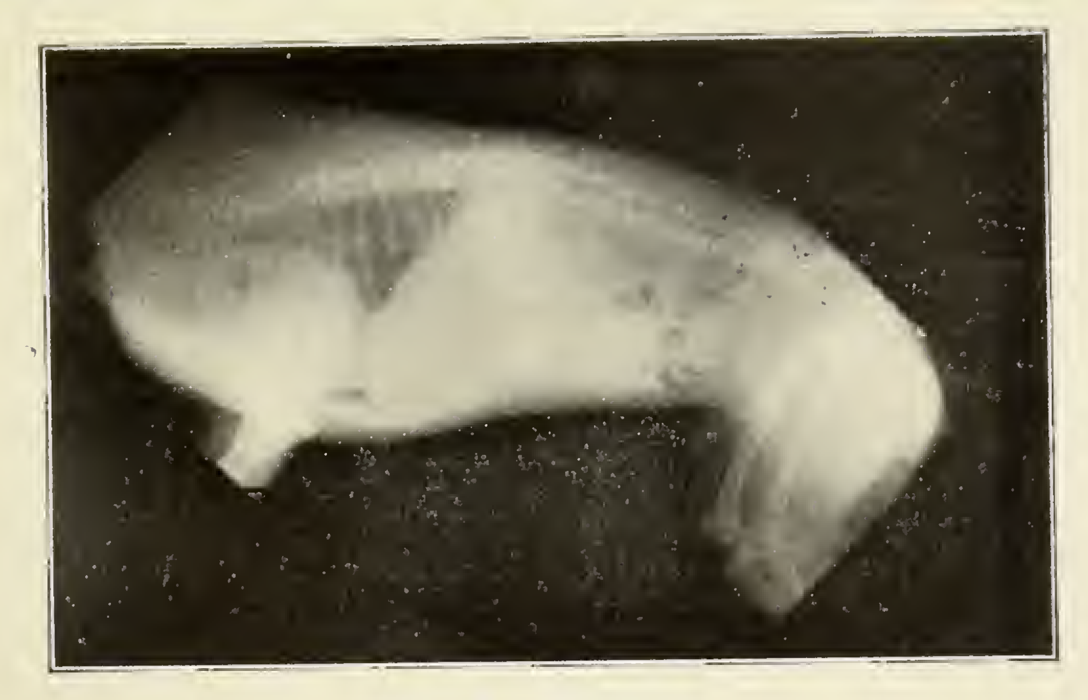


Fig. 8. Stehhund.



Fig. 9. Kontrollhund.

Röntgenbilder (transversale Strahlenrichtung).

abgemessen und auf der dorsalen Seite diese Abmessungen durch entsprechende an der Basis der zugehörigen Processus spinosi kontrolliert. Da sich der obere Thoraxteil bei beiden Hunden in genau dem gleichen Verhältnis zur Totalhöhe des Körpers stehend, also als zuverlässiges Vergleichsmaass erwies,

wurde auf diesen = 100 bezogen. Es geht aus diesen Messungen, vgl. Tabelle 6, unzweifelhaft hervor, dass beim Stehhund der Lendenteil des Rumpfes, und schon in geringem Grade der unterste Thoraxteil, kürzer ist als beim Kontrollhund, der an den Röntgenbildern erhobene Befund also zutreffend war. Es ergibt sich daraus ferner, dass beim Stehhund das Zwerchfell tiefer steht.

Tabelle 6.

Wirbelsäulenmessungen.

			Stehhund %	Kontrollhund %
Thoraxteil	obere Partie	vom kranialen Rand der ventralen Fläche des 1. Brustwirbelkörpers bis zum kaudalen des 5. Körpers	100 = 66,2 % der totalen Körperhöhe	100 = 66,3 % der totalen Körperhöhe
		vom kranialen Ansatzpunkt des Process. spinos. des 1. Brustwirbels bis zu dem kaudalen des Proc. spin. des 5. Brustwirbels	96,3	96,6
	untere Partie	8.—13. Wirbelkörper einschl. (ventral gemessen)	131,5	134,5
Lendenteil		1.—3. Lendenwirbel einschl. (ventral gemessen)	85,2	91,4
		1.—3. Lendenwirbel einschl., dorsal, wie oben, an den Ansätzen der Proc. spin. gemessen	63,0	70,7

An den Röntgenbildern der ersten Zeit (48. Lebenstag) lässt sich mit Sicherheit aus dem Vergleich der Brust- mit der Lendenwirbelsäule nachweisen, dass es sich hier um im Verlaufe der Untersuchungen erworbene Eigenschaften handelt.

Knochensystem.

Wirbelsäule.

Bezüglich der Wirbelsäule sind schon einige Angaben im Anschlusse an die Tabelle 6 gemacht worden. Ausserdem ist an den Figg. 4 und 5, sowie an den nach dem Tode in der physiologischen Vierfüsserlage aufgenommenen Röntgenbildern (Fig. 8 und 9) ersichtlich, dass ventralwärts der Winkel zwischen Brust- und Lendenwirbelsäule beim Stehhund grösser geworden ist, die Brustwirbelsäule also mehr hintenüber verlegt wurde. Es handelt sich hier um ein Regulationsphänomen, das zur Verlegung

des Schwerpunktes in ursächlicher Beziehung steht. Der Schwerpunkt des Thorax liegt, wie aus Bestimmungen, die so vorgenommen wurden, dass nach dem Tode der abgetrennte Thorax in verschiedener Richtung an einer Schnur aufgehängt und photographiert wurde, hervorging, relativ weit ventralwärts. Infolgedessen besteht bei dem aufrechtstehenden Hund die Tendenz, vornüber zu fallen. Dieser wird dadurch begegnet, dass die kranialwärts gelegene Partie des Thorax dorsalwärts konkav gebogen wird. Das Bemühen, den Schwerpunkt in dieser Weise genügend weit über die Unterstützungsfläche zu bringen, ermüdete den Hund bisweilen so sehr, dass er mit aller Gewalt zur Entlastung der überangestrengten Organe die alte natürliche Stellung wiederzugewinnen suchte. Er hing dann an seinem Halsband, stellte die Hinterbeine so weit als möglich nach hinten und liess Kopf und Vorderbeine nach unten herabfallen. Natürlich wurde diese Stellung alsbald von der Kontrollperson korrigiert bzw. die Übung abgebrochen.

Mit der Verlegung des Schwerpunktes hängt augenscheinlich auch die am Skelett zu beobachtende stärkere Rückbiegung der Lendenwirbelsäule des Stehhundes zusammen, die z. B. an den Röntgenbildern Fig. 8 und 9 zu erkennen ist. An den hierfür noch besser geeigneten, in transversaler Strahlenrichtung aufgenommenen, die sagittale Ansicht des Beckens repräsentierenden Röntgenbildern, die weiter unten bei der Besprechung des Beckens abgebildet sind (Fig. 11), lässt sich das daran nachweisen, dass der als Maass des Kreuzbein-Lendenwirbelsäulenwinkels genommene dorsale Winkel zwischen der ventralen Kontur des Kreuzbeines und der Richtung der Verbindungslinie der ventralen Kuppen der Ränder der Intervertebralflächen des letzten Lendenwirbels beim Stehhund 135,5°, beim Kontrollhund 142° beträgt (vgl. auch die Skizze Fig. 12).

An diesen Aufnahmen ist ferner unschwer eine Differenz in dem Verhalten der unteren Lendenwirbelkörper zu erkennen, die darin besteht, dass deren ventrale Delle beim Stehhund flacher als beim Kontrollhund ist. In der Tabelle 7 habe ich die Dellenmaasse, das Verhältnis ihrer Basis (= Verbindungslinie der Kuppen der Ränder der Intervertebralflächen) zu ihrer Tiefe (maximaler Abstand dieser Basis von dem tiefsten Punkte der Delle) für beide Hunde zahlenmässig zusammengestellt, so dass hieraus ein objektives Urteil gewonnen werden kann. Diese Transformation erklärt sich ebenso wie die Verringerung der Wirbelkörperhöhe (Tabelle 6) wohl

ausreichend als Reaktionserscheinung auf die grössere funktionelle Beanspruchung, die die Körper infolge der Zunahme der Pressungen nach unten hin beim aufrechtstehenden Hunde auszuhalten hatten.

Tabelle 7.

Maasse für die ventrale Delle der Lendenwirbelkörper in der Figur 11.

		Das Verhältnis der Dellenbasis zur Dellentiefe = 100:
4. Lendenwirbel . .	Stehhund	11,7
	Kontrollhund	16,0
5. „ . .	Stehhund	11,2
	Kontrollhund	14,3
6. „ . .	Stehhund	13,9
	Kontrollhund	14,7
7. „ . .	Stehhund	10,9
	Kontrollhund	14,1

Auf den erwähnten Beckenseitenansichten ist auch die beim Stehhund vorhandene stärkere ventralhin gerichtete Biegung der Processus costarii der Lendenwirbel zur Darstellung gekommen.

Weitere Unterschiede sind zwischen den beiden Hunden bezüglich der Wirbelsäule nicht zu beobachten gewesen, auch nicht hinsichtlich der Spongiosaarchitektur (Röntgenaufnahmen).

Die oben beschriebene Modifikation der Rückenkontur bei der Vierfüsserstellung war bei dem Stehhund zuerst am 101. Lebenstage aufgefallen.

Scapula.

Von den Veränderungen, die das Schulterblatt des Stehhundes erlitten hat, ist am bemerkenswertesten die, dass es im Längsdurchmesser (in der Richtung der Spina) vergrössert ist, also gegenüber dem des Kontrollhundes eine mehr langgestreckte Form besitzt. Die dabei bestehende relative Verschmälerung nimmt den grössten Betrag in der Gegend der Inzisur an. An dieser Stelle springt auch eine Differenz im Verlauf der Spina, die darin besteht, dass diese letztere beim Kontrollhund in der Nähe des kaudalen Randes bzw. in der Mitte der dorsalen, akromial gelegenen Fläche, beim Stehhund aber ganz nahe am kranialen Rande verläuft, am meisten in die Augen. Hierdurch ist die Fossa infraspinata am akromialen Ende relativ gegenüber der kranialen Grube vergrössert. Dort, wo der Musc. teres major an der beim Stehhund medialwärts

stärker konvex gekrümmten Basis seinen Ursprung nimmt, ist der Skapularand dorsalwärts aufgebogen, die Fossa tiefer eingebuchtet, so dass hier eine offenkundige Harmonie der Charaktere dieser Ursprungsstelle zu der tatsächlich beim Stehhund beobachteten stärkeren Entwicklung des Musc. teres major besteht. An der Fossa supraspinata ist infolge der Verschmälerung der zwischen Grat und Inzisur gelegenen Grubenfläche der Basisteil relativ stärker ausgebildet (Hypertrophie des Musc. supraspinatus beim Stehhund. Die Akromionfläche selbst ist beim Stehhund grösser als bei dem anderen).

Erwägt man, dass alle auf der Scapula gelegenen Muskeln, die übrigens — abgesehen von dem Musc. supraspinatus, der stärker entwickelt war — denen des Kontrollhundes gleich ausgebildet waren, in der Richtung des Längsdurchmessers des Schulterblattes wirken, ferner bei der Stellung mit erhobenen ausgestreckten Vorderbeinen die Musc. rhomboidei an der Scapula zerren, auf der anderen Seite der Musc. teres major die Basis nach vorn zieht, so kann man wohl die Beobachtungen, dass die Ansatzstelle des Musc. teres major an der kranialen Basispartie des Schulterblattes umgebogen, die kaudale Partie der Scapula im Sinne einer medialwärts gerichteten Konvexität dorsalwärts gezogen, die Scapula im ganzen lang gestreckt wurde, verstehen. Vielleicht ist es aber richtiger, der Anregung, die die Wachstumsintensität durch die funktionelle Beanspruchung zu erfahren pflegt, die ausschlaggebende Rolle unter den ätiologischen Momenten zuzuschreiben.

Becken.

Über die Unterschiede, die das Becken aufweist, unterrichtet am zuverlässigsten Tabelle 8, deren Daten an der Hand des dorso-ventral aufgenommenen frontalen Röntgenbildes des einen Hundes, Fig. 10, wohl leicht verständlich sind. Bei der Benutzung der Zusammenstellung ist zu beachten, dass die hier stehenden Zahlen, da sie auf die Symphysenhöhe bezogen sind, etwa das Dreifache der absoluten Werte (Millimeter) sind. Die Tabelle gibt, um die wesentlichen Tatsachen nochmals hervorzuheben, an, dass das Becken des Stehhundes relativ höher als das des Kontrollhundes ist und die Vergrösserung sich sowohl auf den über wie unter dem Acetabulum gelegenen Teil bezieht. Ferner zeigt sich, dass am Beckeneingang der sagittale Durchmesser grösser, der transversale aber

Tabelle 8.

Relative Becken- und Kreuzbeinmaasse.

	Stehhund	Kontrollhund
Symphysenhöhe	100	100
Maximaler sagittaler Durchmesser des Beckeneingangs. (Gemessen von der Mitte der Innenseite der Symphyse bis zum entsprechenden Punkte der vorderen Kreuzbeinfläche	135,5	126
Maximaler transversaler Durchmesser des Beckeneingangs	111	108
Beckenhöhe: Entfernung vom kranialen Rand des Acetabulum bis zu dem des Os ilei. (Lichte Distanz über die laterale Fläche gemessen)	179	171
Beckenhöhe: Entfernung vom kranialen Rand des Acetabulum bis zu dem am meisten kaudal gelegenen Punkte des Os ischii	143,5	138,5
Entfernung der beiden Spinae iliacae anteriores superiores voneinander	168	171
Entfernung der beiden Spinae iliacae anteriores inferiores von einander	145	143
Entfernung der beiden Tubera ischiadica voneinander	195	218
Maximale Breite der lateralen Fläche des Os ilei (senkrecht zum Längsdurchmesser gemessen)	92	86
Minimale Breite der lateralen Fläche des Os ilei (über dem Acetabulum gemessen)	55	54
Schaufelbreite in der Höhe der Crista ischiad. anter. infer.	84	78,5
Ventrale Kreuzbeinbreite, in der Höhe des Beckeneingangs gemessen	97	95
Ventrale Kreuzbeinlänge	77	86
Ventrale Höhe des letzten Lendenwirbels	53	55
Ventrale Breite des letzten Lendenwirbels	54	57
Höhe des zweitletzten Lendenwirbels: Entfernung der Mitten der benachbarten Intervertebralscheiben	56	61,5
Höhe des zweitletzten Lendenwirbels: Eigentliche Körperhöhe	48	51
Höhe des drittletzten Lendenwirbels: Entfernung der Mitten der benachbarten Intervertebralscheiben	57	65
Höhe des drittletzten Lendenwirbels: Eigentliche Körperhöhe	48	52
Maximale Entfernung zwischen den Process. costar. des letzten Lendenwirbels	119	134
Maximale Entfernung zwischen den Process. costar. des vorletzten „	119	125
Maximale Entfernung zwischen den Process. costar. des drittletzten „	110	111
Maximale Entfernung zwischen den Process. costar. des viertletzten „	—	94

gleich ist. Der quere Durchmesser des Beckenausganges ist beim Stehhund recht beträchtlich verengt. Da der Angulus pubis bei beiden Hunden 102° beträgt, betrifft diese Verschmälerung die ganze unter dem Acetabulum gelegene Beckenpartie. Die Schaufeln des Os ilei, die beim Stehhund breiter (grössere ventralkonkave Einbiegung des ventralen Ileumrandes) sind, laden dort nach links und rechts gleich weit aus. — Das Kreuzbein ist beim Stehhund ebenso breit als bei der Schwester, aber kürzer. Ferner ergibt sich hier wiederum, was schon früher

hervorgehoben wurde, dass die Lendenwirbel beim Stehhund niedriger und ihre Processus costarii mehr einwärts gebogen sind. Es ist für die Beurteilung der Tragweite der konstatierten Differenzen von



Fig. 10. Frontales Röntgenbild vom Becken des Hundes.

wesentlicher Bedeutung, dass die vom Stehen und Gehen aller Voraussicht nach sicher nicht beeinflussbaren, in der Tabelle aufgeführten Beziehungen bei den beiden Hunden völlig gleich sind.

Die Stellung des Beckens ist aus den Röntgenbildern, Fig. 11a und b, die auch einige der soeben namhaft gemachten Charakteristika

zeigen, gut zu erkennen. In diesen Sagittalansichten beträgt der für die Beziehung des oberen zum unteren Beckenteil maassgebende Winkel zwischen dem dorsalen Schaufelrand und der unter dem



Fig. 11 a. Sagittales Röntgenbild des Beckens (Stehhund).

Acetabulum gelegenen Kontur des unteren Abschnittes beim Stehhund 145 °, gegenüber 140 ° beim Kontrollhund. Es ist aus dem aus den Abbildungen leicht ersichtlichen unterschiedlichen Verhalten der kranial vom Acetabulum gelegenen Kontur, aus der Stellung der Symphyse des Stehhundes zur Wirbelsäule und der auch recht deutlich zu beobachtenden Vergrösserung des von ventraler Wirbelsäulen-

und dorsaler Beckenkontur begrenzten Winkels leicht zu verstehen, dass diese Differenz sich so erklärt, dass der kraniale Beckenabschnitt beim Stehhund sowohl dorsal nach unten



Fig. 11 b. Sagittales Röntgenbild des Beckens (Kontrollhund).

hin rotierte wie ventralwärts abgebogen wurde, so dass oberer und unterer Beckenteil mit den ventralen Partien sich ein-

1) Die oben (S. 31) angegebene, aus den photographischen Aufnahmen des lebenden Stehhundes abgeleitete Verkürzung des Lendenteils des Rumpfes erklärt sich also 1. aus dem Tiefertreten der Wirbelsäule, 2. aus der Veränderung der Wirbelkörper selbst.

ander näherten. Zum besseren Verständnis wurden in Fig. 12 Skizzen der beiden Seitenbilder so aufeinander gebracht, dass das

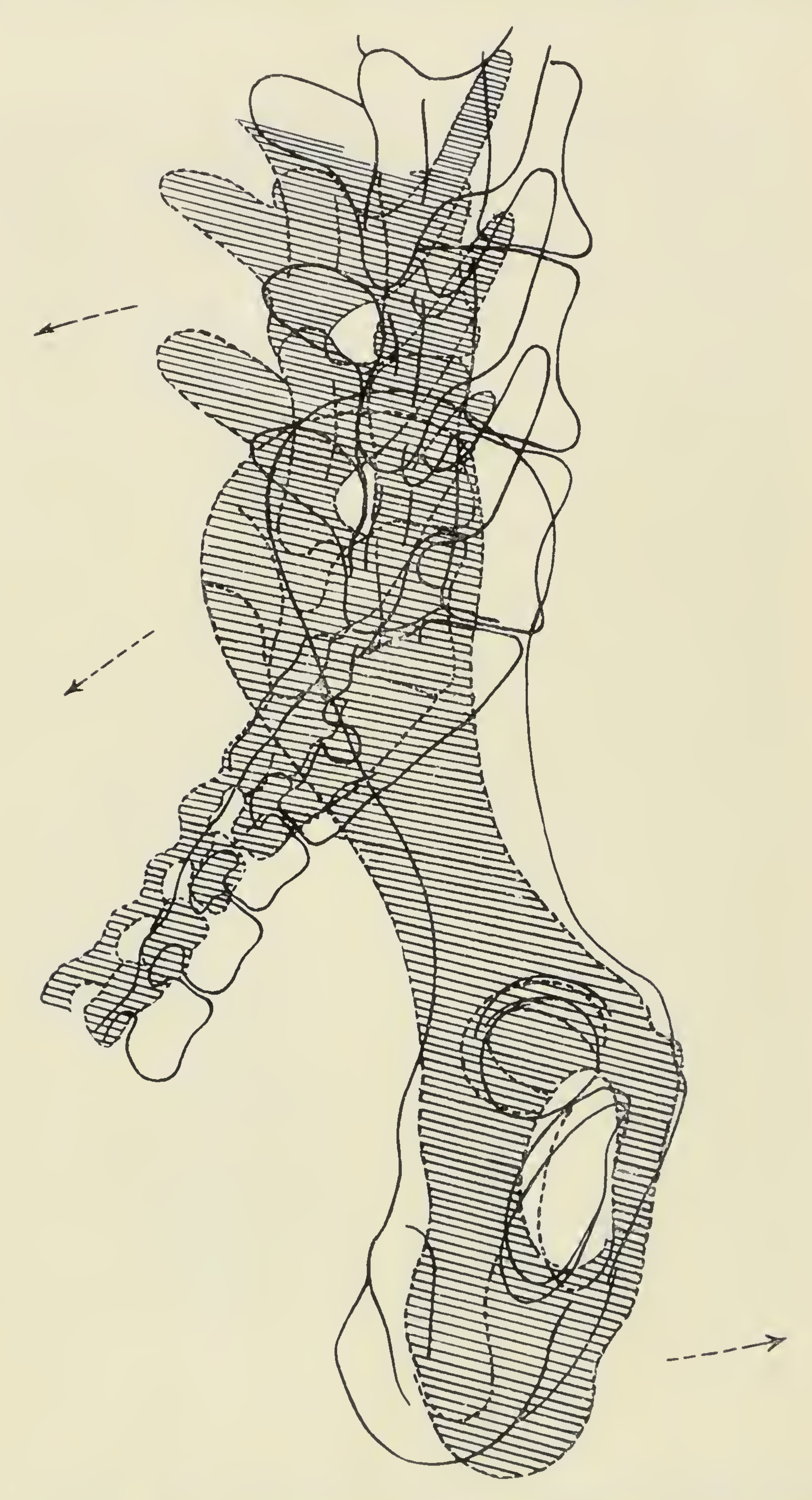


Fig. 12. Darstellung der Beckenrotation (die ausgezogenen Linien entsprechen dem Röntgenbild (Fig. 11 b) des Kontrollhundes; die schraffierte Figur stellt das Becken des Stehhundes (Fig. 11 a) dar.

Acetabulum den Rotationspunkt bildete und die Richtung des Kreuzbeins bei beiden korrespondierte. Ausser den soeben namhaft ge-

machten Differenzen ist nun hier vor allem die für die Ätiologie der Modifikationen bemerkenswerteste Tatsache, die Rückverlagerung des Kreuzbeines, zu erkennen. Ohne Zweifel hängt diese mit dem Umstand zusammen, dass die Wirbelsäule zur Verlegung des Schwerpunktes notwendig nach hinten umgebogen werden musste. Diese Reklination zog die Rotation des Beckens um seine horizontale Achse nach sich, so dass der obere Teil des Beckens dorsalwärts, der kaudale nach vorn hin sich drehte. Zu dieser Rotation kam dann noch die das Becken im Sinne einer oben ventral-konkaven Einbiegung deformierende Belastung hinzu. Für die Verkleinerung des queren Durchmessers kommt vor allem der Druck der Schenkelköpfe als genetisches Moment in Betracht.

In der 15. Lebenswoche wurde zuerst beobachtet, dass der Stehhund beim Stehen auf allen Vieren die Hinterbeine in einem stumpferen Winkel zum Rumpf aufsetzte. Ich bin geneigt, darin eine Regulation für die Veränderung des Becken-Wirbelsäulenwinkels zu sehen.

Hinsichtlich der Struktur der Beckenknochen (Röntgenbilder) wurden keine Unterschiede zwischen beiden Hunden beobachtet.

Femur.

Schon durch die blosse Betrachtung sind durchgreifende Unterschiede zwischen den beiderlei Femora zu erkennen. Während beim Kontrollhund der Knochen in seiner distalen Hälfte leicht medialwärts konvex (Fontralebene) gebogen ist, wodurch in diesem Abschnitte eine leichte, aber doch deutlich wahrnehmbare S-Krümmung zustande kommt, ist beim Stehhund eher eine Biegung in entgegengesetzter Richtung — medialwärts konkav — zu konstatieren. Daher kommt es, dass bei dem letzteren — siehe die Frontalebene-Aufnahme Fig. 13 — die Fossa intercondylica in der Richtung des kranialen Diaphysenabschnittes liegt, beim Kontrollhund aber weiter lateralwärts verschoben erscheint.

Das Femur des Stehhundes ist, vor allem in der Mitte der Diaphyse, schmäler als das des Kontrollhundes. Der Unterschied macht am Frontalschnitt (Röntgenbild Fig. 13), auf die maximale Breite des proximalen und distalen Endes bezogen, etwas über 4 % aus, wie man aus der Tabelle 9 ersehen kann. Die gleiche Beobachtung ist am Sagittalschnitt zu machen (Tabelle 10). Die Fossa intercondylica erscheint beim Stehhund etwas tiefer, und zwar be-

trifft diese Vertiefung gleichmässig die mediale und laterale Partie. Augenscheinlich erscheint die des Kontrollhundes wegen der stärkeren Ausbildung der lateralen Partie flacher. Eine Veränderung der



Stehhund. Kontrollhund.

Fig. 13. Femur (Röntgenaufnahme, Frontalebene).

Querschnittsform tritt beim Stehhund im proximalen Teil in einer geringgradigen Abflachung der Konvexität der vorderen Fläche, im distalen in einer deutlichen Konvexität des normal völlig flachen Planum popliteum der dorsalen Seite zutage. Auf der ventralen

Seite des Femur ist noch zu beobachten, dass beim Stehhund der mediale Wulst der Facies patellaris, beim Kontrollhund dagegen der laterale stärker ausgebildet ist. Es hängt das mit der besseren Ausbildung des lateralen Condylus beim Kontrollhund bzw. mit der verschiedenen Biegung des distalen Abschnittes des Femur zusammen.

Tabelle 9.

Relative Femurmaasse. (Frontalebene, Röntgenbild.)

	Stehhund	Kontrollhund
Femurbreite, dicht unter dem Caput gemessen . . .	100	100
Maximale Femurbreite in der Epicondylengegend . .	98	92
Femurbreite in der Mitte der Diaphyse	38	42
Corticalisbreite in der Mitte der Diaphyse — medial	6,8	8,3
Corticalisbreite in der Mitte der Diaphyse — lateral	7,7	7,1

Tabelle 10.

Relative Femurmaasse. (Sagittale Ebene, Röntgenbild.)

			Stehhund		Kontrollhund	
Maximale Länge vom Condylus bis zum Femurkopf			100		100	
Maximale Breite am proximalen Ende, dicht distal vom Kopf des Femur gemessen			10,1		10,6	
Maximale Breite des distalen Endes			19,4		20,5	
Femurdiaphysenbreite	an der Grenze zwischen proximalem und mittlerem Drittel	Breite der ventralen Corticalis	1,5		1,7	
		Breite der Markhöhle . .	4,8	7,9	5,4	9,2
		„ „ dorsal. Corticalis	1,6		2,1	
	in der Mitte der Diaphyse	Breite der ventralen Corticalis	1,3		1,6	
		Breite der Markhöhle. . .	4,4	7,2	5,8	9,0
		„ „ dorsal. Corticalis	1,5		1,6	
	an der Grenze zwischen distalem und mittlerem Drittel	Breite der ventralen Corticalis	1,7		1,7	
		Breite der Markhöhle. . .	4,5	7,9	5,4	8,7
		„ „ dorsal. Corticalis	1,7		1,6	

Auf den ventrodorsalen Röntgenbildern (Fig. 13) ist zunächst ersichtlich, dass die Corticalis die oben beschriebenen Biegungen mitmacht; ferner aber sind noch andere evidente Unterschiede in der Struktur vorhanden. Beim Stehhund ist die Corticalis auf der lateralen, beim Kontrollhund auf der medialen Seite stärker entwickelt. Verfolgt man sie nach dem proximalen Ende hin, so sieht man deutlich, dass die mediale Corticalis hier beim Stehhund weniger massig entwickelt ist. Sie wird bei ihm an der kranialen Biegung

nicht breiter, als sie in der Diaphyse war, wohingegen beim Kontrollhund ihr Durchmesser auf das Doppelte geht. Die starke Verdichtung der Spongiosa ist bei dem normalen Femur an dieser Biegung noch recht weit nach dem Trochanter hin zu verfolgen, während eine solche beim Stehhund im Röntgenbild nur angedeutet ist. An der Corticalis der gegenüberliegenden lateralen Seite und an der des Collum sind keine wesentlichen Unterschiede zu beobachten.

Die bemerkenswertesten Unterschiede betreffen die Mitte des proximalen Femurteiles. Während hier beim Kontrollhund vom Trochanter nach der Diaphyse hin die Spongiosa eine fast gleichmässige, der der Corticalis wenig nachstehende Dichtigkeit besitzt, sind beim Stehhund Spongiosa und Corticalis scharf gegeneinander abgesetzt, und vom kranialen Collumrand zieht, als Fortsetzung der Collumcorticalis, ein dichter Bälkchenzug nach der anderen Seite hinüber, etwa an der Grenze zwischen oberem und mittlerem Drittel des Femur sich in die beim Stehhund ja stärker entwickelte laterale Corticalis verlierend.

Was hier so deutlich zutage tritt, ist eine Differenz zwischen den beiden Hunden in der Art, dass die maximale Beanspruchung von der medialen Seite auf die laterale im Sinne einer grösseren Beanspruchung auf Zugfestigkeit verschoben ist. Diese Einwirkung ist leicht verständlich, weil das seitlich am Femurkopf angreifende Becken infolge der aufliegenden Körperlast das Caput femoris nach unten abzubiegen strebt, also weniger ein Druck auf den Kopf in der Diaphysenrichtung einwirkt als eine nach lateralwärts konvexe Biegung des oberen Femurabschnittes erstrebt wird. Diese Biegung kann aber nur als ein Teil der nach aussen konvexen Biegung des ganzen Femur angesprochen werden. Dass die daraus resultierende Zugbeanspruchung proximalwärts zunimmt und sich hier sogar in einer Fortsetzung der in der lateralen Corticalis gelegenen Zugbälkchen äussert, ist danach nur zu verständlich.

Nicht grössere Schwierigkeiten für die Erklärung bietet die als weitere Konsequenz der einwirkenden Kräfte zu beobachtende, nach der medialen Seite hin gerichtete konkave Einbiegung des distalen Femurendes. Dass man es hier mit einer Einwärtsbiegung des normalen Knochens zu tun hat, folgt ausserdem daraus, dass an der betreffenden Stelle medial die Corticalis verdickt ist, also ein Verhalten zeigt, das aus den Untersuchungen von Jul. Wolff als durchweg zutreffend für solche Vorgänge hinreichend bekannt ist, so dass

m. E. kein Zweifel mehr bestehen kann, dass der Angriff des Gegendruckes gegen den Femurkopf medial erfolgt ist und eine medialwärts konkave Ausbiegung des ganzen Femur erzwungen hat.

Die normale, dorsal-konvexe Biegung des proximalen Femurendes des Kontrollhundes (Sagittalebene) verdankt einem analogen Prozess ihre Entstehung. Hier ist es die ventral auf den Kopf einwirkende Last, die beim Kontrollhund die Krümmung bewerkstelligt, beim Stehhund aber der weiter dorsalwärts angreifende Druck, der die entgegengesetzt gerichtete Wirkung erstrebt. Diese ventral-konvexe Ausbiegung des proximalen Femurteiles des Stehhundes wird nach unten hin von einer dorsal-konvexen abgelöst. Aus der Tabelle 10 ist zu ersehen, dass hier in der Mitte der Diaphyse auch eine Umkehrung der Corticalisausbildung bei den beiden Hunden in der Art stattgefunden hat, dass die dorsale Corticalis beim Stehhund gegenüber der ventralen stärker ausgebildet wurde, während beim Kontrollhund beide Seiten eine gleich starke Rindenschicht besitzen. Am distalen Ende sind ausser einer eben angedeuteten Verstärkung der ventralen Corticaliszüge keine Unterschiede zu beobachten.

Vordere Fläche des Kopfes und des Trochanter major des proximalen Femurendes sind beim Stehhund mehr ventralhin gegeneinander zu gebogen. Die Ätiologie dieser Torsion ist schon von H. v. Meyer[1]) und Damany[2]) diskutiert worden. Ohne Zweifel steht sie hier mit der extremen Oberschenkelstreckung, die zu einer Zerrung des an der Linea intertrochanterica ansetzenden Ligam. ileofemorale führt, in Verbindung.

Tibia und Fibula.

Die Condylen des Oberschenkels greifen an der Tibia hauptsächlich dorsal an mit der offenkundigen Tendenz, infolge der Vermehrung der aufliegenden Last den Knochen von oben nach unten zusammenzudrücken. Es dürfte infolgedessen am zweckmässigsten sein, zunächst auf die in der Sagittalebene geschehenen Verände-

1) Herm. v. Meyer, Das menschliche Knochengerüst verglichen mit demjenigen der Vierfüssler. Arch. f. Anat. (u. Physiol.) 1891 S. 301.

2) P. Le Damany, L'adaption de l'homme à la station debout. Journ. de l'anat. et de la physiol. t. 41 p. 141. 1905.

rungen das Augenmerk zu richten. In dieser Hinsicht ist nur zu beobachten, dass die Tibia beim Stehhund am proximalen Ende nach hinten stärker konkav gebogen ist und zu einem grösseren Abstande zwischen Tibia und Fibula geführt hat; die Diaphysenkrümmung ist bei beiden Hunden, wie die genaue Ausmessung der korrespondierenden, bei medial-lateralem Strahlengang aufgenommenen Röntgenbilder ergab, gleich.

Tabelle 11.

Relative Tibiamaasse. (Sagittalebene, Röntgenbild.)

		Stehhund		Kontrollhund	
Tibialänge (gemessen von proximal ventral bis distal dorsal		100		100	
Tibiabreite in der Mitte der Diaphyse	Breite der dorsalen Corticalis	2,0	7,1	2,0	6,8
	„ „ Markhöhle	3,0		3,4	
	„ „ ventralen Corticalis	2,1		1,4	

Die Architekturbilder lassen wesentliche Unterschiede in der Anhäufung kompakter Knochensubstanz erkennen. Während in der Sagittalebene auf der dorsalen Seite die Corticalis — vgl. Tabelle 11 — bei beiden Hunden vollkommen gleich stark ist, ist sie ventral beim Stehhund beträchtlich vermehrt, und zwar geschieht diese Verstärkung der ventralen Corticalis auf Kosten der Markhöhle. Wir beobachten also auch hier wieder eine erstaunliche Anpassung an die durch den dorsal angreifenden Druck auf der ventralen Seite geweckte distal abnehmende Biegungsbeanspruchung. Am schönsten tritt uns diese Transformation naturgemäss am proximalen Ende entgegen. Hier sehen wir — vgl. die schematische Darstellung der Spongiosabälkchen, Fig. 14, und Fig. 15, die eine vergleichende Skizze der beiderlei in der Röntgenaufnahme ausserordentlich klar zum Ausdruck kommenden Spongiosaarchitekturen darstellt —, dass die Verknöcherung der ventral vorhandenen Spongiosa beim Stehhund weiter kranial hinaufreicht, so dass die Corticalis sich hier bis zum proximalen Tibiaende hin verfolgen lässt, während sie beim Kontrollhund etwa in der Mitte der proximalen Enderweiterung sich in Spongiosabälkchen auffasert, die nach den hier stärker gebogenen Zügen der gegenüberliegenden hinteren Corticalis konvergieren. Auf dieser, der dorsalen Seite, ist die Corticalis beim Stehhund nach vorn und hinten

stärker umgebogen, wie die Blätter der Palme auseinanderweichen, wenn sie von oben gedrückt werden.

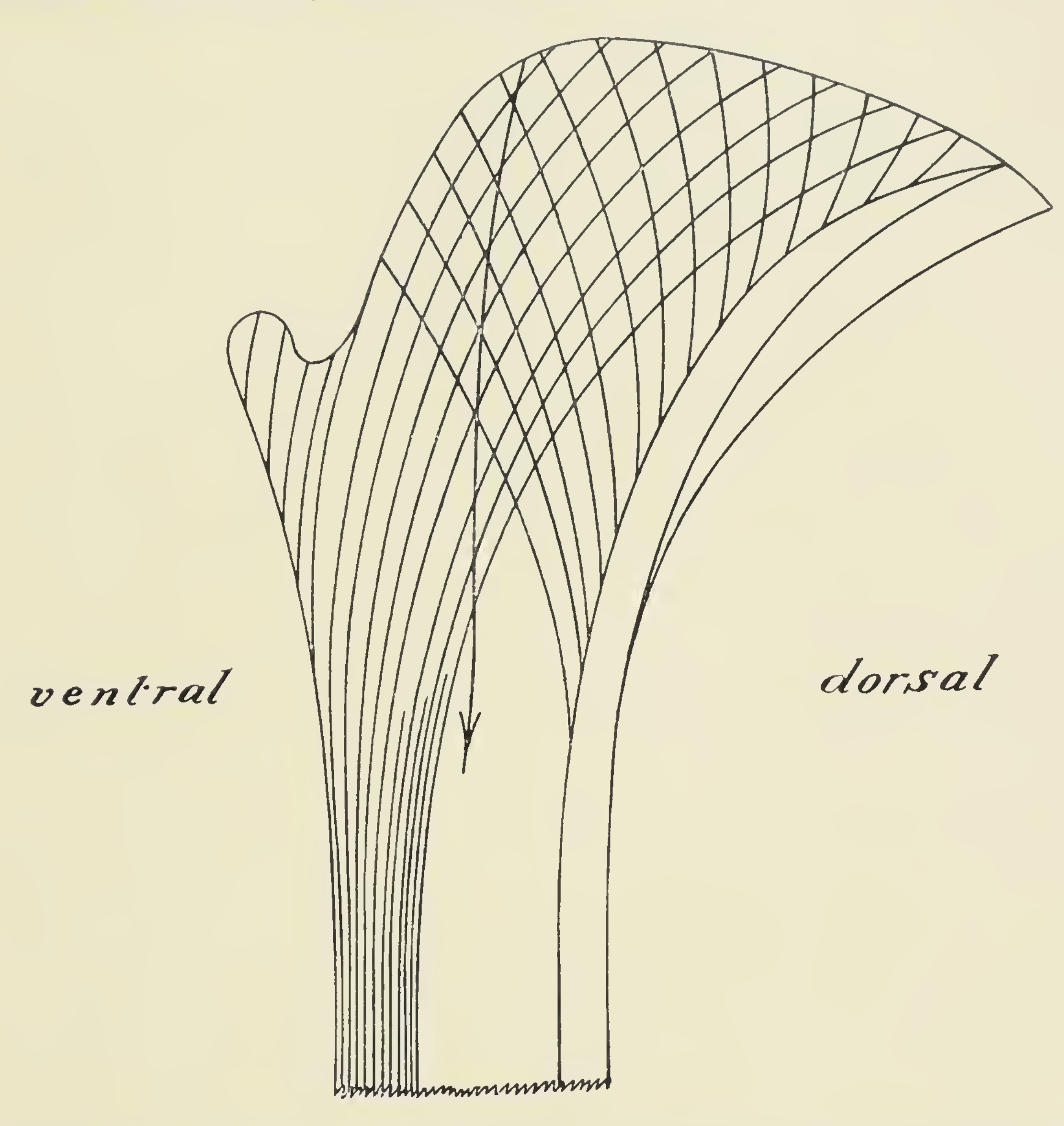


Fig. 14. Schematische Darstellung der Spongiosaarchitektur im proximalen Teile der Tibia des Hundes. Sagittale Ebene. (Nach dem Röntgenbild gezeichnet.)

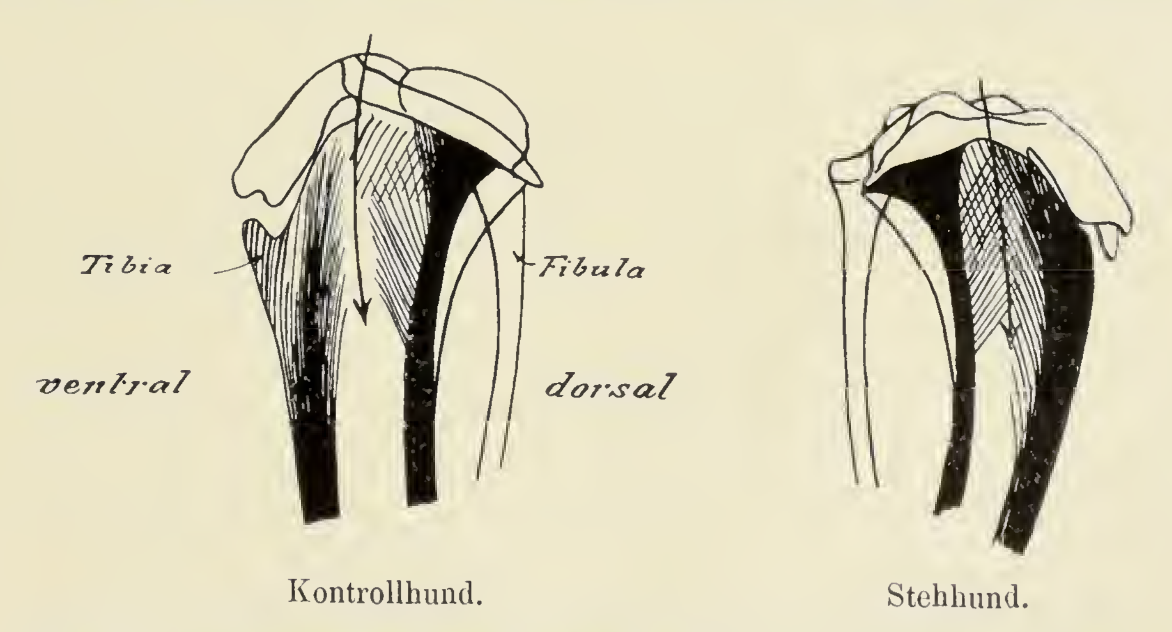


Fig. 15. Anordnung der Spongiosabälkchen im proximalen Teil der Tibia. (Sagittale Ebene.)

Die Vollkommenheit des Strukturbildes gestattet es, aus der Spongiosaarchitektur die Richtung der angreifenden Kräfte zu rekonstruieren. Wird nämlich die Stützrichtung der im proximalen Tibiateil gelegenen, beim Stehhund ohne Zweifel als Reaktion auf stärkere Pressungen in stumpferem Winkel gegeneinanderstehenden Bälkchen in der Weise festgestellt, dass ihre Schnittpunkte verbunden werden, so ergibt sich, dass der von oben nach unten wirkende Druck beim Stehhund weiter dorsal angegriffen haben muss.

Hinsichtlich der der Frontalebene angehörenden Differenzen ist die vollkommene Umkehrung der normalen Biegungen am proximalen und distalen Abschnitte der Tibia am bemerkenswertesten. Während nämlich der Knochen beim Kontrollhund in den oberen zwei Dritteln medial-konvex, im unteren Drittel aber lateral-konvex gekrümmt ist, ist beim Stehhund oben eine lateral-konvexe Biegung vorhanden, unten aber die Tendenz zu medial-konvexer Ausbiegung zu erkennen. Die Corticalis ist dementsprechend am proximalen und distalen Ende beim Kontrollhund medial relativ stärker, beim Stehhund lateral breiter. In der Mitte der Diaphyse, wo die medial-konvexe Biegung vorherrscht, besitzt die Rindenschicht bei beiden Hunden medial eine etwas grössere Dicke (Tabelle 12). Die Corticalis ist also stets der Beanspruchung auf Zug entsprechend verstärkt, im übrigen aber beim Stehhund überhaupt etwas besser ausgebildet. Die hier beschriebenen Veränderungen, die wieder in einer Modifikation der Bälkchenarchitektur ihren entsprechenden Ausdruck gefunden haben, beweisen ohne Zweifel, dass beim Stehhund der Druck auf der medialen Seite einwirkte, wobei er den Knochen sowohl auf Strebefestigkeit wie besonders auf Biegung beanspruchte.

Tabelle 12.

Relative Tibiamaasse. (Frontale Ebene, Röntgenbild.)

		Stehhund		Kontrollhund	
Maximale Tibiabreite am proximalen Ende		100		100	
„ „ „ distalen Ende		74		74	
Tibiabreite in der Mitte der Diaphyse	Breite der lateralen Corticalis	7,8	37,8	8,8	37,6
	„ „ Markhöhle	17,8		18,8	
	„ „ medialen Corticalis	12,2		10,0	

Diese Erörterung führt also zu dem gleichen Ergebnis wie das Studium der Femora. Sie zeigt wiederum, dass die beim Stehhund

vorhandene grössere Belastung der unteren Körperteile sich weiter medial und dorsal geltend gemacht und infolgedessen zu Verbiegungen der Knochen in der Sagittal- und Frontalebene und entsprechenden Änderungen der Spongiosaarchitektur geführt hat. Da es sich hier wiederum um einen rein physiologischen, durch keinerlei entzündliche und sonstige pathologische Vorgänge gestörten Prozess handelt, kommt hier an der vom Druck am meisten betroffenen Tibia die lediglich durch primäre Änderung der Funktion hervorgerufene Transformation des Knochensystems besonders rein zum Ausdruck.

Dass es sich nun in der Tat hier um eine wirkliche Transformation eines vorher normalen, d. h. dem des Kontrollhundes analog gebauten Knochens handelt, geht unzweifelhaft aus den in den frühen Epochen aufgenommenen Röntgenbildern hervor. Ich finde an den am 6. Februar, d. h. dem 48. Lebenstage, aufgenommenen Platten, was zunächst die Frontalebene betrifft, bei beiden Hunden die gleiche Krümmung der Femora, lediglich mit dem kleinen Unterschiede, dass beim Stehhund die S-Form nicht mehr so scharf wie bei dem Kontrollhund ausgeprägt ist. Es ist also von der späteren Umkehrung der Biegungen noch fast nichts zu beobachten. An der Tibia ist dagegen die später so deutlich werdende Biegung des proximalen Endes schon besser erkennbar.

An den die Sagittalebene repräsentierenden Aufnahmen tritt noch keine dem späteren Verhalten entsprechende Modifikation zutage. Hier sind bei beiden Hunden die gleichen Verhältnisse zu beobachten. Daraus geht nun auch wiederum hervor, dass beim Stehen die intensivste Modifikation, wie am Femur, in der Frontalebene vor sich geht.

An den am 107. Lebenstage aufgenommenen Röntgenphotographien sind schon alle oben beschriebenen Veränderungen, soweit sie die Form der Knochen betreffen, deutlich wahrzunehmen. Über die Struktur der Knochen lässt sich aus den ersten Röntgenaufnahmen kein Urteil gewinnen.

Am 59. Lebenstage fiel zum ersten Male auf, dass der Stehhund sich bestrebte, möglichst breitbeinig mit den Hinterbeinen zu stehen. Man geht wohl nicht fehl, wenn man darin eine durch den oben ventral einwirkenden Druck ausgelöste Ermüdungserscheinung sieht.

Einige Zeit später wurde beobachtet, dass die Hinterfüsse mit breiterer Fläche aufgesetzt wurden. Diese Differenz zwischen den beiden Hunden war recht deutlich. An dem Knochensystem des

Fusses traten aber nachher keine bemerkenswerten Differenzen zutage.

Es verdient noch bemerkt zu werden, dass in dem Verhältnis der Tibialänge zur Femurlänge keine Verschiebung auftrat.

In den vorstehenden Ausführungen sahen wir im Mittelpunkt der Statik und Dynamik des Knochensystems die grosse Biegungsfähigkeit der Wirbelsäule, die es dem Hunde gestattete, den veränderten Schwerpunktsverhältnissen sich so anzupassen, dass ein der aufrechten Stellung des Menschen entsprechender Mechanismus zustande kam. Die Nichtbeachtung dieser grundlegenden Tatsache hat zu theoretischen Ableitungen über die Folgen der aufrechten Körperstellung des Vierfüssers geführt, die den hier direkt beobachteten in wesentlichen Punkten widersprechen, also keine Allgemeingültigkeit besitzen können. „Der Rumpf bleibt — so schreibt H. v. Meyer von der aufrechten Haltung der Vierfüsser (l. c. S. 305) — in sich unverändert, und insbesondere behält die Wirbelsäule ihre bogenförmige Gestalt bei, weshalb der Rücken seine gleichmässige Wölbung behält und eine stärkere Aufrichtung des Kopfes nur in der Halswirbelsäule zustande kommt. Bei dieser Art der aufrechten Haltung ist also in Wirklichkeit der ganze Rumpf mit dem Becken in eine andere Stellung gebracht, und das haben die Beine allein ausgeführt. In der menschlichen aufrechten Haltung ist aber die Stellung des Beckens gegen den Horizont der Stellung des Beckens in dem vierfüssigen Stehen der Quadrupeden gegenüber nicht verändert, und dennoch erscheint der ganze Rumpf aufgerichtet. Dieses kann also nur durch eine Gestaltsveränderung in diesem selbst erreicht worden sein. Genauere Prüfung der Verhältnisse lässt auch bald erkennen, worin diese Veränderung besteht. Während wir nämlich bei den Vierfüssern eine einzige gleichmässige Krümmung der Wirbelsäule von dem unteren Ende des Halses bis zu dem hinteren Ende des Kreuzbeines wahrnehmen, finden wir an der menschlichen Wirbelsäule in der Lendengegend eine tiefe Einsenkung, deren Konvexität nach vorn gerichtet ist, so dass dadurch eine Abknickung des Brustkorbes gegen das Becken gegeben ist, welche es hinlänglich erklärt, dass bei unveränderter Stellung des Beckens die Längenachse des Rumpfes senkrecht gestellt ist.“ Aus den Figg. 2 und 3, die die Seitenansicht eines aufrecht gestellten Hundes, dessen Tendenz, den Schwerpunkt zur Sicherung der Stellung nach hinten

zu bringen, künstlich unterstützt wurde, wiedergeben, ist deutlich zu erkennen, dass es sich hier nicht um eine Hockstellung handelt, sondern um eine Position, bei der die typische nach vorn konkave Krümmung der Vierfüsserwirbelsäule ausgeglichen und sogar soweit modifiziert wurde, dass die für die menschliche Wirbelsäule charakteristischen Biegungen zutage treten. Ich habe mich von der Modulationsfähigkeit der Hundewirbelsäule sowohl durch Röntgenaufnahmen, welche die normale Vierfüsserstellung bei verschiedener Kopfhaltung wiedergaben, wie durch solche, welche bei aufrechter Position des Hundes aufgenommen wurden, überzeugt und kann hiernach versichern, dass sich die Wirbelsäule des Hundes unter den gleichen mechanischen Bedingungen nicht wesentlich anders verhält als die des Menschen. Sie ist keineswegs also immer ein „senkrecht gestellter Bogen, dessen oberes freies Ende durch die Schwere nach vorn hinuntergezogen wird, bis diese einen genügenden Widerstand findet, einesteils durch federnde Gegenspannung der Wirbelsäule und anderenteils durch die Spannung der Bauchmuskeln, gegen welche die Eingeweide gedrängt werden“ (H. v. *Meyer*, l. c. 306). Infolgedessen sind auch die Folgerungen, welche aus der Beibehaltung der in der Horizontallage vorhandenen Vierfüsserkrümmung beim aufrechten Gang abgeleitet wurden, für unseren Fall unhaltbar.

Es ist nun aber leicht einzusehen, dass vor allem durch das beim Hund besonders wichtige statische Moment des Kopfes besondere Modifikationen gegenüber den beim Menschen vorliegenden Verhältnissen hervorgerufen werden. Infolge hiervon, wegen der Kleinheit der Unterstützungsfläche des Körpers u. a., nahm der Stehhund nie die freie Stellung des aufrechtstehenden Menschen an, sondern musste oben unterstützt werden, und der Rumpfschwerpunkt wurde in der Regel nur so weit nach hinten verlegt, dass die Brustwirbelsäule und der grösste Teil des Thorax auf dem Abdomen getragen wurden, also die für die Folgen der aufrechten Stellung des Menschen ausschlaggebenden Bedingungen geschaffen waren. Dabei geschah die Reklination hauptsächlich in dem unteren und mittleren Teil der Lendenwirbelsäule und führte durch die aktive Tätigkeit der Rückenstreckmuskeln zu mehr als zu einer blossen Andeutung einer ventralkonkaven Thorax- und einer ventralkonvexen Lendenwirbelsäulenkrümmung. *Wir erkennen also in der typischen doppelten S-Form der menschlichen Wirbelsäule eine mechanische,*

durch die Aufrechtstellung bedingte Gestaltung, die aber nicht durch den aufrechten Gang als solchen erst allmählich erworben wird, sondern eine schon primär auftretende, durch die Verlegung des Schwerpunktes des oberen Körpers nach hinten bedingte Form einer biegsamen Wirbelsäule darstellt. Damit stimmt überein, dass schon beim menschlichen Fötus des fünften Monats, dessen Haltung wohl noch nicht vom Uterusdruck bestimmt wird, bei entsprechender Rückenbiegung die dorsalkonvexe Lendenkrümmung, wie die diesbezüglichen Röntgenbilder[1]) ersehen lassen, sehr deutlich erkennbar ist, also nicht lediglich durch den aufrechten Gang herbeigeführt werden kann. Durch die fortgesetzte Übung dieser Biegungen bei der Aufrechtstellung treten allerdings mit der Zeit die entsprechenden dauerhaften Modifikationen an der Wirbelsäule auf, die oben geschildert wurden, und die beim aufrecht gestellten Hund hauptsächlich darin gipfelten, dass die geübten Biegungen auch in der natürlichen Ruhelage der Vierfüsserwirbelsäule ihren Einfluss noch in einer Rückbiegung des oberen Wirbelsäulenteiles und in einer Andeutung einer nach vorn konvex gerichteten Lendenkrümmung (Fig. 8) erkennen liessen. Wenn nun aber Hund wie Mensch die infolge der Aufrechtstellung sich geltend machenden Wirkungen der Schwere durch analoge Ausbiegungen der Wirbelsäule ausgleichen, folgt, dass auch die Belastungen unter den beiderlei Umständen sich in gleicher Weise geltend machen müssen, da die hierfür in Betracht kommenden Gewichtsverhältnisse bei Mensch und Hund im wesentlichen gleich sind. Daraus ergibt sich, dass sich an dem angestellten Versuch die Frage, ob sich die charakteristischen Eigenheiten des Beckens und der unteren Extremitäten des Menschen aus der Einwirkung der aufgelagerten Rumpflast ableiten lassen, entscheiden lassen muss.

Ohne Zweifel wird die Formierung des Beckens, wenn es zutrifft, dass eine solche in Abhängigkeit von den Belastungen geschieht, von zwei Komponenten herbeigeführt, einmal von dem Druck, den das Acetabulum seitens der hinteren Extremitäten erfährt, das andere Mal von der auflastenden Rumpfschwere. Da nun der Hund im Versuch die für den aufrechtstehenden Menschen charakteristische Stellung mit gestreckten Knieen aufwies (Fig. 2 und 3), liegen auch

1) B. Alexander, Die Entstehung der knöchernen Wirbelsäule. Arch. u. Atl. d. norm. u. pathol. Anat. in typischen Röntgenbildern. Ergänzungsbd. 13 Taf. VI Fig. 24, Taf. VII Fig. 23, Taf. XIII Fig. 30. Hamburg 1906.

für das Becken zwischen Mensch und Stehhund analoge Verhältnisse vor, die zu weiteren Schlüssen über die unter dem Einflusse der aufrechten Körperstellung erfolgende Beckentransformation berechtigen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen stehen unzweifelhaft mit manchen Erwartungen, die teils aus den beim primitiven Menschen vorgefundenen Bildungen, teils aus der physiologischen Ausgestaltung des Fötusskeletts zu dem des Erwachsenen, teils auch aus der vergleichenden Untersuchung von Vierfüsser- und Menschenskelett abgeleitet wurden, in Widerspruch. Wir erfahren, dass die infolge der aufrechten Stellung entwickelte Beckengestaltung mit der Form, wie sie theoretisch konstruiert wurde, nur noch wenig Ähnlichkeit hat. Weder ist das Kreuzbein eingesunken, das Promontorium tiefer getreten, noch wurden die Kreuzbeinkörper aus den Flügeln herausgepresst, noch wurde das Becken niedriger, mehr in die Quere gespannt oder im queren Durchmesser des Einganges auf Kosten des geraden vergrössert. Nichts von alledem hat sich gezeigt. Dagegen wurde eine Beckenform erzeugt, die am ehesten dem Typus des kyphotisch querverengten Beckens entspricht. Nach dem, was oben bei der Besprechung der Beckenkonfiguration gesagt wurde, liegt die Gleichheit der ursächlichen Bedingungen auf der Hand; denn auch beim kyphotisch querverengten Becken liegt das wirksamste genetische Agens in der Reklination der unteren Wirbelsäulenteile und in dem in der Richtung von ventral-cranial nach dorsal-caudal auf den cranialen Teil des Kreuzbeines seitens der Rumpflast ausgeübten Druck. Es ergibt sich hieraus, dass für die phylogenetische und ontogenetische Entwicklung des primitiven Beckens in die endgültige Form, insbesondere auch für die von den älteren Geburtshelfern auf die Belastung durch den Rumpf zurückgeführte Gestaltung des rachitischen Beckens[1]) im wesentlichen Wachstumsgesetze neben den mechanisch wirkenden Belastungsmomenten maassgebend sind. Es ist nicht erlaubt, die Erfahrungen, die am pathologischen menschlichen Becken (Osteomalacie) gemacht wurden, gegen diese Auffassung anzurufen, weil sich dabei die durch Stehen, Gehen und Liegen sowie durch un-

1) Vgl. die Kritik dieser Anschauungen bei C. Breus und Al. Kolisko, (Die pathologischen Beckenformen Bd. 1 T. 1 S. 45 ff., T. 2 S. 534 ff.; Bd. 2 S. 67 ff. Leipzig und Wien 1900), wo einige schwerwiegende, aus der Entwicklung des Fötusbeckens abgeleitete Bedenken geltend gemacht werden.

gleichmässiges Befallensein durch den pathologischen Prozess zustande gekommenen Einwirkungen in schwer differenzierbarer Weise vermischen, so dass es späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben muss, im Experiment diese einzelnen mechanischen Momente zu isolieren und dann an die Erklärung der komplexen pathologischen Formen zu gehen.

Von einer Reihe von Autoren ist auch die Form der Knochen der unteren Extremität auf den Einfluss, den die Rumpflast auf die indifferente Gestalt der Fötusknochen ausübt, zurückgeführt worden. Es ist aber m. E. ohne allen Zweifel, dass schon im dritten Monat, wo der Uterusdruck noch keine Rolle spielen kann, die medialkonkave Krümmung des Oberschenkels und der Tibia [1]) eine stärkere Ausbildung im Sinne einer vertikal angreifenden Belastung erfahren hat, als sie sie später aufweist, nachdem tatsächlich die Einflüsse der Vertikalstellung eingewirkt haben. Es treten also auch hier Belastungsmomente hinter die durch die Wachstumsgesetze erzwungenen Gestaltungseinflüsse weit zurück. Ich bin hier in der Lage, ausser der geführten experimentellen Beweisführung, die hier beim Knochensystem infolge der Möglichkeit, röntgenologisch die allmähliche Entstehung der Modifikationen aus ursprünglich durchaus dem Kontrollhund entsprechenden Formen zu erweisen, besondere Beachtung beanspruchen kann, einen zweiten Beweis aus der Pathologie der Rachitis dafür zu bringen; dass tatsächlich die bei dem aufrecht stehenden Hunde beobachteten Deformationen auf das Konto der aufrechten Stellung kommen. Denn bei dieser Erkrankung ist es vor allem neben der Weichheit der Knochen das Zurücktreten der Wachstumsreize, das den Belastungsmomenten die ausschlaggebende Rolle zuweist. Ich habe nun bei zwei jungen, durch Kalkentziehung künstlich rachitisch gemachten Hunden die entsprechenden, beim rachitischen Menschen an den unteren Extremitäten auftretenden Verkrümmungen an den Vorderbeinen sich entwickeln sehen, weil die infolge übergrosser Mattigkeit fast immer sitzenden Hunde auf diese allein sich stützten. An diesen Erfahrungen lässt sich also mit Sicherheit erkennen, in welcher Richtung die Belastung sich

1) C. Sick in Wilms und Sick, Die Entwicklung der Knochen der Extremitäten von der Geburt bis zum vollendeten Wachstum. Arch. u. Atlas d. norm. u. pathol. Anat. in typischen Röntgenbildern. Ergänzungsbd. 9 Taf. IV Fig. 21, Taf. VII ff. Hamburg 1902. — B. Alexander, l. c., Taf. I Fig. 2, Taf. III Fig. 14, Taf. XVIII Fig. 39.

geltend macht, und da die rachitischen Verkrümmungen mit den beim aufrecht gehenden Hund gefundenen[1]) korrespondieren, kann es keinem Zweifel unterliegen, dass die oben beschriebenen Transformationen auf das Konto der Aufrechtstellung zu setzen sind und auch für den Menschen volle Geltung besitzen. Die beim Wachstum des normalen Menschen erkennbare Tendenz zur Umwandlung der Knochen der unteren Extremitäten im umgekehrten Sinne kann also nur darauf beruhen, dass die Wachstumstendenz des Knochens noch anderen als statischen Gesetzen folgt, und dass die ersteren diesen letzteren wirksam entgegentreten, solange nicht Störungen vorhanden sind, bei denen infolge des Wachstumsstillstandes die statischen Momente die Übermacht gewinnen, wie bei der Rachitis.

Muskulatur.

Nachdem der Stehhund etwa einen Monat unter dem Einflusse der aufrechten Körperstellung gewesen war (Mitte der 9. Lebenswoche), wurde in der Regio lumbodorsalis das Auftreten einer sagittal gerichteten Furche bemerkt. Dieser Rückenscheitel verdankte einer besseren Ausbildung der mehr beanspruchten Rückenstreckmuskulatur seine Entstehung. Dass dies die wahre Ursache ist, geht neben der direkten Feststellung an der Leiche auch aus der Betrachtung der bei transversaler Strahlenrichtung aufgenommenen Sagittalbilder (Röntgenbilder, Fig. 8 und 9) hervor. Denn hier sieht man beim Stehhund eine Schicht Muskulatur über die Dornfortsatzenden hinüberragen, beim Kontrollhund dagegen nicht. Dieselbe Beobachtung ist an der am Brustteil gelegenen Rückenmuskulatur zu machen. Da der Hund gezwungen war, die Rumpfwirbelsäule nach hinten zu biegen, bildete sich die dazu dienende Muskulatur immer stärker aus.

Die besten Aufschlüsse über die funtionell bedingte Modifikation der Muskulatur gibt die vergleichende Gewichtsbestimmung, wenn die infolge der Arbeitsleistung auftretende chemische Veränderung[2])

---

1) Vgl. über die rachitischen Deformitäten des Menschen z. B. Alfr. Graf Über die Architektur rachitischer Knochen. Zeitschr. f. orthopäd. Chir. Bd. 3 S. 174—196. 1894. — Krauss, Rachitis, rachitische Verkrümmungen der unteren Extremitäten und deren rationelle Behandlung mittels des Krauss'schen Schienengipsverbandes. Zeitschr. f. orthopäd. Chir. Bd. 26 S. 193—356. 1910.

2) H. Gerhartz, Untersuchungen über den Einfluss der Muskelarbeit auf die Organe des tierischen Organismus, insbesondere ihren Wassergehalt. Pflüger's Arch. f. Physiol. Bd. 133 S. 397—499. 1910.

nicht einen zu grossen Betrag annimmt. Aus den eben gemachten Angaben über die Hypertrophie der meist angestrengten Rückenmuskulatur geht aber hervor, dass hier beim Stehhund die mit einer Vermehrung einhergehende Arbeitsveränderung statthatte. Es darf also mit gutem Rechte aus der Gewichtsvermehrung auf die durch die Vertikalstellung mehr oder weniger in Anspruch genommene Funktion der untersuchten Muskel rückgeschlossen werden. Diese Methode, durch Hervorrufung einer Arbeitshypertrophie einen proportional der gesetzten komplexen Bewegung sich ausbildenden Zustand der Muskulatur herbeizuführen, stellt eine willkommene Ergänzung der meistgeübten Analyse der Funktion einzelner Muskeln dar, erfordert aber andererseits recht viel Zeit und Hilfe. Es war mir deshalb nicht möglich, alle Muskeln detailliert zu untersuchen, sondern es wurden nur die in erster Reihe in Betracht kommenden ausgewählt. Ich glaube, dass auch so eine ausreichende Vorstellung über die Art der durch die aufrechte Position in Anspruch genommenen Muskelpartien gewonnen werden wird.

Die Muskeln wurden, wie ich es bei meinen früheren Untersuchungen übte, sobald als möglich nach dem Tode herauspräpariert, von aufliegendem Fett und Bindegewebe befreit und in tarierte Wiegegläser gebracht, in denen sie auf der chemischen Wage gewogen wurden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bringen die Tabellen 13 und 14, in denen ausser auf das Körpergewicht auch auf das konstantere und also maassgebendere Gewicht der (rechten) Niere[1]) bezogen wurde. Es ergibt sich, dass eine Anzahl von Muskeln beim Stehhund schwerer war, andere Muskeln gleiches Gewicht besassen, wieder andere beim Stehhund relativ leichter waren als bei dem Kontrollhund. Von den Muskeln der vorderen Extremität nahmen zu: Musc. trapecius, supraspinatus, teres major, deltoideus, pectoralis major, biceps brachii und die Mm. anconaei. Ferner wurden, wie sich nachträglich noch bei der Untersuchung der konservierten übrigen Vorderbeinmuskeln herausstellte, der M. flexor carpi ulnaris internus, der M. flexor digitalis sublimis und profundus sowie der M. extensor digitalis communis besser ausgebildet.

1) Die Beziehung auf das Gehirngewicht war durch einen unglücklichen Zufall unmöglich gemacht worden. Die Beziehung auf das Nierengewicht ist nur bei gleicher Ernährung, wie hier, korrekt, da grösserer Eiweissgehalt der Nahrung eine Hypertrophie der Niere bewirkt (Zuntz).

Der Musc. latissimus dorsi, infraspinatus, pectoralis minor, brachialis internus wiesen bei der Präparation ein geringeres Gewicht beim Stehhund auf, desgleichen noch, wie sich bei der nachträglichen Untersuchung, auf die ich wenig Gewicht lege, zeigte, der M. flexor carpi ulnaris externus und extensor digitalis lateralis.

Der Hund pflegte beim aufrechten Stehen und Gehen seine Vorderbeine gegen den oberen Laufstuhlrand zu stemmen. Dabei kamen hauptsächlich die Muskeln, die das Schultergelenk strecken und die Schenkel vorführen, in Betracht, also von den untersuchten Muskeln der M. supraspinatus und deltoideus, ferner die Mm. anconaei, die den Unterschenkel strecken, und der M. trapecius und pectoralis major. Von den Gelenkbeugern nahmen der M. biceps und teres maior zu. Die geringere Entwicklung des M. latissimus dorsi, der in den besser entwickelten Mm. pectoralis und trapecius hinsichtlich der Schulterblattbewegung Antagonisten besitzt, ist wohl durch die Entlastung, die dieser den Rumpf vorziehende Muskel bei der zur Verlegung des Schwerpunktes nach hinten notwendigen Tätigkeit der Rückenstreckmuskulatur erfuhr, zu erklären. Eine geringere Entwicklung wiesen noch die an der Bewegung der vorderen Extremität beteiligten Muskeln (M. pectoralis minor, infraspinatus, brachialis internus) auf.

Bemerkenswerter sind die Unterschiede, die sich an den hinteren Extremitäten zwischen Kontrollhund und Stehhund herausstellten.

Tabelle 13.

Prozentuale Gewichte der Muskeln von der rechten vorderen Extremität und vom Rücken.

	Stehhund		Kontrollhund	
	pro 100 g Körpergewicht	pro 100 g Niere	pro 100 g Körpergewicht	pro 100 g Niere
Musc. latissimus dorsi	0,76	231,8	0,81	237,0
„ trapecius	0,11	32,7	0,10	29,1
„ teres maior	0,16	48,1	0,15	42,4
„ supraspinatus	0,42	127,6	0,39	113,7
„ infraspinatus	0,29	88,7	0,31	90,8
„ deltoideus	0,215	65,8	0,21	62,1
„ pectoralis maior	0,23	71,6	0,23	66,9
„ „ minor	0,67	203,9	0,74	215,0
„ biceps brachii	0,16	48,9	0,16	46,6
„ brachialis internus	0,07	2,0	0,08	2,3
Mm. anconaei	1,2	368,3	1,205	350,5

Tabelle 14.

Prozentuale Gewichte der rechten hinteren Extremität.

	Stehhund		Kontrollhund	
	pro 100 g Körpergewicht	pro 100 g Niere	pro 100 g Körpergewicht	pro 100 g Niere
Mm. glutaei	0,38	116,8	0,45	131,5
Musc. quadriceps (ohne M. rectus)	1,24	378,0	1,06	308,2
„ rectus femoris	0,19	59,0	0,15	43,1
„ sartorius	0,05	15,5	0,04	10,64
„ biceps, semimembranosus und semitendinosus	1,57	480,4	1,825	531,0
Mm. adductores	1,43	436,7	1,51	439,0
Musc. tibialis anterior	0,095	28,9	0,11	31,3
„ extensor digit. pedis longus	0,11	32,5	0,10	28,7
„ peroneus longus	0,05	14,4	0,05	13,6
„ „ brevis	0,008	2,6	0,009	2,6
„ „ tertius	0,01	3,1	0,01	3,0
„ flexor digit. sublimis	0,14 } 0,20	4,4 } 6,1	} 0,175	5,1
„ „ „ profundus	0,06	1,8		
„ gastrocnemius	0,44	133,9	0,44	127,6

Beim Stehhund hatten ein geringeres Gewicht die Mm. tibialis anterior, biceps, semimembranosus, semitendinosus, adductores und die Glutaeusgruppe; gleich blieben der M. peroneus brevis und tertius, von denen der letztere eher eine Tendenz zur Zunahme erkennen liess. Von den untersuchten Muskeln nahmen der M. quadriceps, rectus, sartorius, gastrocnemius, peroneus longus, flexor digitalis sublimis und profundus zu.

Diese Differenzen stehen in erkennbarer Beziehung zu den geübten Funktionen des aufrechten Stehens und Gehens. Entsprechend dem Umstande, dass der Stehhund mit gestreckter unterer Extremität stand, ergibt die Untersuchung, dass die an dieser Funktion beteiligten Mm. gastrocnemius, quadriceps, rectus besser entwickelt wurden, während die Kniebeuger, die keine grössere Rolle spielen konnten (M. biceps usw.), ein geringeres Gewicht aufwiesen. Recht verständlich ist auch die grössere Arbeitsleistung derjenigen Muskeln, welche die Zehenstellung verändern (M. extensor digitalis pedis longus und Mm. flexor digitalis sublimis und profundus), nicht minder die geringere Tätigkeit des hauptsächlich an der Dorsalflektion des Fusses beteiligten M. tibialis anterior und der Adduktoren.

Nachträglich wurden nochmals an dem konservierten Präparat des anderen Schenkels — beim Hunde pflegt rechte und linke Seite nach meinen Erfahrungen gleich ausgebildet zu sein — die

hier besprochenen Unterschiede in den Muskelgewichten nachgeprüft und durchaus bestätigt gefunden. Die geringere Entwicklung des M. glutaeus medius und der Kniegelenkbeuger usw., die bessere des M. sartorius, gracilis und der Quadricepsgruppe war schon so deutlich wahrzunehmen; ferner sah man die etwas bessere Entwicklung des winzigen M. glutaeus maximus beim Stehhunde. Sie reichte aber nicht hin, die Abnahme des M. glutaeus medius zu kompensieren, so dass das Totalgewicht der Glutaeen bei dem Stehhund kleiner wurde.

Es erscheint mir interessant, die aufgedeckten Beziehungen zwischen der Stehfunktion und der Tätigkeit der vergrösserten Muskeln an den Unterschieden, die zwischen den entsprechenden Hunde- und Menschenmuskeln bestehen, zu kontrollieren. Die Gebr. Weber[1]) teilen in ihren Untersuchungen über die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge Muskelgewichte, die für diese Fragestellung verwendbar sind, von zwei wohlgebildeten und kräftigen Männern mit. Da das Gewicht der Muskulatur den Hauptteil der aktiven Körpermasse ausmacht, diese wiederum zum Nierengewicht sowohl beim erwachsenen Menschen wie beim ausgewachsenen Hund im gleichen Verhältnis steht[2]), so ist es meines Erachtens wohl genügend korrekt, bei Mensch und Hund die Muskelgewichte auf das Gewicht der Niere zu beziehen. Für den zum Vergleich dienenden Hund habe ich das Gewicht der Niere direkt bestimmt und die Muskelgewichte auf das Gewicht der rechten Niere bezogen. Das Körper- und Nierengewicht der von den Gebr. Weber untersuchten Personen ist unbekannt. Vierordt[3]) nennt für den erwachsenen menschlichen Körper 153 g Nierengewicht. Es ist sehr wahrscheinlich, dass dieser Wert, der zu einem Körpergewicht von 66,2 kg gehört, für die von den Gebr. Weber untersuchten Personen zu niedrig ist. Ich rechne deshalb mit einem proportional auf das wahrscheinlichere Körpergewicht von 80 kg aufgerechneten Nierengewicht von 185 g[4]). Mit dieser Zahl kommen die in der Tabelle 15 für den Menschen angegebenen Werte zustande.

1) Wilh. und Ed. Weber, Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge S. 217. Göttingen 1836.

2) H. Gerhartz, Experimentelle Wachstumsstudien. Pflüger's Arch. f. Physiol. Bd. 135 S. 157. 1910.

3) H. Vierordt, Daten und Tabellen, 1906. Zit. nach C. Oppenheimer's Handb. d. Biochemie Bd. 3, Teil 2, S. 14. 1909.

4) Die Ergebnisse der Gegenüberstellung werden übrigens davon nicht beeinflusst.

Tabelle 15.

Vergleichende Übersicht von auf das Nierengewicht bezogenen Vierfüsser- und Menschenmuskeln.

	Auf 100 g Niere kommen	
	Vierfüsser (Kontrollhund) [rechte Niere = 22,2 g] g	Mensch [Niere = 185 g] g
Mm. glutaei	131,5	506
„ adductores	439	354
Musc. quadriceps (ohne m. rectus)	308	590
„ rectus femoris	43	108
„ gracilis	9	44
„ sartorius	11	68
„ biceps, semimembranosus und semitendinosus	531	343
„ gastrocnemius	128	396 (samt M. plantaris und soleus.)
„ flexor digit. prof. u. sublimis	5	24
„ peroneus longus	14	46
„ „ brevis	3	28
„ „ tertius	3	12
„ tibialis anterior	31	67
„ extensor digitalis pedis longus	29	18

Die Gegenüberstellung der dem Menschen und dem Vierfüsser zukommenden relativen Muskelgewichte lehrt zunächst, dass sämtliche in Untersuchung stehenden Muskeln, mit Ausnahme der Adduktorengruppe, der Gruppe Biceps, Semimembranosus und Semitendinosus und des M. extensor digitalis pedis longus beim Menschen, ein relativ höheres Gewicht besitzen als bei dem auf allen Vieren laufenden Hund.

Es fragt sich, ob diese Differenzen durch die aufrechte Stellung provoziert sein können. Ist dies der Fall, so wird eine Parallele zu den zwischen Stehhund und Kontrollhund beobachteten Unterschieden zu erwarten sein. Werden die Muskelgewichte von diesem Gesichtspunkte aus untersucht, so ergibt sich, dass diejenigen Muskeln, welche beim Menschen relativ stärker als beim Vierfüsser entwickelt sind, auch beim Stehhund relativ schwerer als beim normal laufenden Kontrollhund sind; eine Ausnahme bilden nur die Glutaeusgruppe, die Mm. tibialis anterior, extensor digitalis longus und der M. peroneus brevis, der im Gewicht gleichblieb. Die Adduktoren, der M. biceps samt semimembranosus und semitendinosus waren sowohl beim Steh-

hund wie beim Menschen schwächer entwickelt als bei dem vierfüssigen Partner.

Wie sind die vier Ausnahmen unter den 13 untersuchten Muskeln zu erklären?

Hinsichtlich des M. peroneus brevis ist zu berücksichtigen, dass das Gewicht dieses kleinsten untersuchten Muskels nur 0,47 g bei dem Stehhund betrug, also die Fehler, die bei jedem Muskel notwendigerweise der ungleichmässigen Präparation zufallen, so gross sind, dass eine kleine Differenz nichts besagen kann.

Das in der Tabelle für den M. tibialis anterior angegebene Proportionalgewicht entspricht ferner nicht dem durchschnittlichen Gewicht dieses Muskels beim Hunde; denn ich fand bei einem anderen, normal sich bewegenden Hund (Hund Nr. VII der zitierten „Untersuchungen über den Einfluss der Muskelarbeit usw.") ein Proportionalgewicht von 60 % für denselben Muskel, womit die Differenz zwischen Mensch und Vierfüsser schon in die Variationsbreite fällt.

An der Glutaeusgruppe ergab sich bei der nachträglichen Untersuchung am konservierten Präparat, dass der M. glutaeus maximus zugenommen, der M. glutaeus medius aber abgenommen hatte. Beim Hunde überwiegt der M. glutaeus medius bedeutend den M. glutaeus maximus. Beim Menschen ist es umgekehrt; dort ist der letztere doppelt so stark entwickelt als der M. glutaeus medius. Es ist also in Wirklichkeit auch hier eine Übereinstimmung vorhanden, da sich beim Menschen und beim aufrecht gehenden Hund das Verhältnis der beiden Glutaeen zugunsten des M. glutaeus maximus verschiebt.

Somit bleibt hier nur noch eine Ausnahme, bei dem Musc. extensor digitalis pedis longus, die meines Erachtens durch die so sehr verschiedene Gestaltung des Fusses bei Mensch und Hund und die daraus resultierenden Unterschiede in der Funktion genügende Aufklärung finden.

Werden die Gewichte aller Strecker und aller Beuger miteinander verglichen, so ergibt sich für den Menschen, worauf schon die Gebr. Weber hingewiesen haben, ein Überwiegen der Strecker über die Beuger. Für die beiden Hunde ergibt sich dabei die entsprechende Tatsache, dass die Streckmuskeln des Stehhundes die des Kontrollhundes ebenfalls an Gewicht übertreffen, während die Beuger

des Stehhundes gegenüber denen des Kontrollhundes an Gewicht zurücktreten.

Es kann also kein Zweifel darüber sein, dass die für den Menschen charakteristische Entwicklung der Muskulatur eine Anpassung an den aufrechten Gang darstellt.

Interesse bietet noch der Vergleich der Folgen des Vierfüsserlaufes mit denjenigen des aufrechten Ganges. Bei meinen oben zitierten Untersuchungen über die Arbeitshypertrophie war auf die Unterschiede, die sich beim Hund zwischen dem Ruhezustand und dem durch forciertes Laufen auf allen Vieren geschaffenen entwickeln, das Augenmerk gerichtet worden. Dort erwiesen sich die Beuge- und Streckmuskeln der hinteren Extremität gleichmässig hypertrophiert. Hier beim aufrechten Gang hypertrophieren sowohl die Muskeln, die den Rumpf nach hinten bringen, wie die Strecker für das Knie- und Fussgelenk und die Zehenbeuger. Diese Unterschiede finden nun wiederum ihren Ausdruck in der endgültigen Ausbildung der Muskulatur bei Mensch und Hund; denn während beim Menschen das Gewicht der Streckmuskeln das der Beuger bedeutend überragt (Gebr. Weber), sind beim Hund Strecker und Beuger zu gleichen Teilen vorhanden[1]).

Thorax.

Die Aussenkontur des frontal durchschnittenen Brustkorbes verläuft beim Hund nicht wie beim Menschen in nach aussen stark konvexem Bogen, sondern eher gradlinig cranial hin zu, so dass die Verlängerung der Thoraxseitenflächen in spitzem Winkel zusammenläuft, nicht, wie es beim Menschen der Fall ist, in ovaler Rundung. Der Hundethorax erscheint also in dem kranialen Teil von der lateralen Seite her plattgedrückt. Die Folge davon ist, dass ein in der Höhe der ersten Rippe geführter Querschnitt, die obere Thoraxapertur darstellend, nicht die querovale Form wie beim Menschen, sondern eine längsovale besitzt, indem der sagittale Durchmesser auf Kosten des transversalen reduziert erscheint. Man kann sich wohl

---

1) C. Voit (Gewichte der Organe eines wohlgenährten und eines hungernden Hundes, Zeitschr. f. Biol. Bd. 30 S. 514. 1894) fand bei einem 15,4 kg schweren normalen Hund das Gewicht der Extensoren zu 6,6 %, das der Flexoren zu 6,9 % der Muskulatur; bei dem Hungerhund wurden für die Extensoren 6,1 %, für die Beugemuskeln 5,5 % der Gesamtmuskulatur gefunden.

vorstellen, dass beim Gehen auf den vier Extremitäten die Vorderbeine in dem Sinne auf den Thorax wirken, dass die Kielform des oberen Thoraxteiles noch mehr im Sinne der Tierform abgeändert wird, und es liegt deshalb nahe, den Vierfüsser auf die durch die aufrechte Stellung hervorgerufenen Thoraxveränderungen hin zu untersuchen.

Der dorsale Abschnitt des knöchernen Anteiles der Rippen war beim Stehhund mehr caudalwärts geneigt als beim Kontrollhund. Infolgedessen waren bei dem ersteren im vorderen Abschnitt die Rippenknorpel, um die gleiche Höhe des Ansatzes am Brustbein zu erreichen, schärfer abgebogen. Der Winkel, in dem Rippenknochen und angrenzender Teil des Knorpelstückes zueinander stehen, in dem also der steilere Abfall der Rippen beim Stehhund zum Ausdruck kommen muss, wurde z. B. an einer Stelle der mittleren Thoraxpartie an dem in Alkohol gehärteten Präparat rechts wie links beim Stehhund zu 135 °, beim Kontrollhund zu 140 ° gemessen.

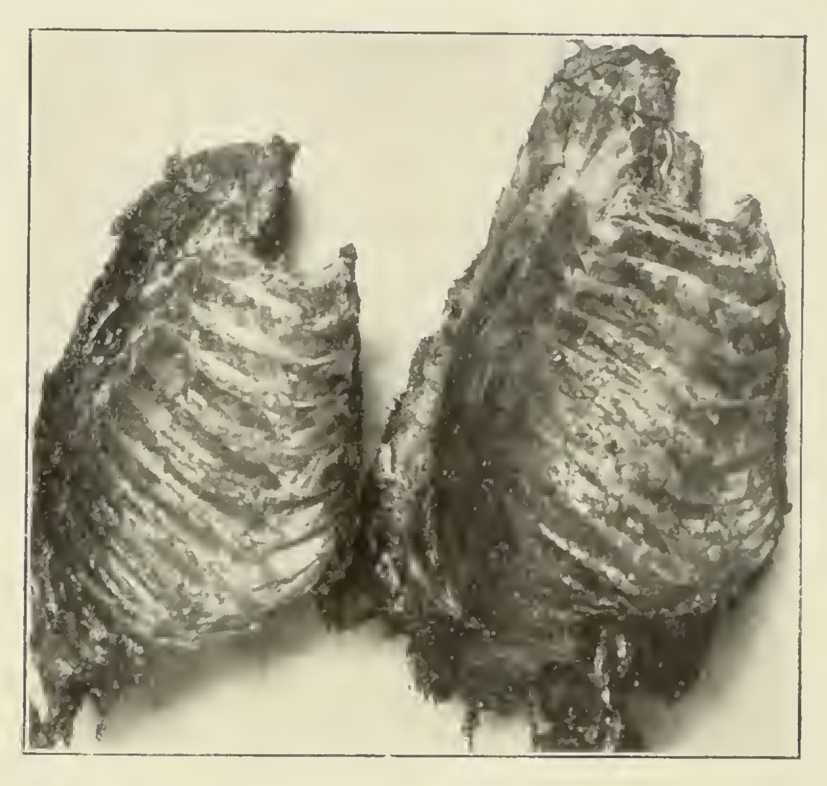
Tabelle 16.

Vergleichende Zusammenstellung der relativen Rippenknorpellängen bei beiden Hunden.

Knorpel der Rippe Nr.	Stehhund	Kontrollhund
3	100	100
4	132	133
5	156	152
6	184	181
7	200	196
8	224	222

Die Rippenknorpel selbst wiesen charakteristische Längenunterschiede auf, die zur Veränderung der Konfiguration des Brustbeines in direkter Beziehung stehen. In Tabelle 16 habe ich die relativen, je auf die Länge des dritten Knorpels = 100 bezogenen Maasse, die durch Abstecken mit dem Zirkel festgestellt wurden, angegeben. Es ergibt sich hieraus eine relativ grössere Länge der unteren Rippenknorpel des Stehhundes. Diesem Verhalten entsprechend stand beim Stehhund die Richtung des Sternums in einem spitzeren Winkel zur Brustwirbelsäule als beim Kontrollhund. An der Figur 16, die diese Befunde illustrieren soll, ersieht man weiterhin, dass die craniale Partie des Brustbeins bei dem aufrecht gehenden Hund fast geradlinig verläuft, die caudale erst vom Ansatz der sechsten Rippe

ab dorsal hin zurückgebogen ist. Beim Kontrollhund dagegen besitzt das Brustbein zunächst an der dritten Rippe einen deutlichen ventralkonvexen Knick; in seinem caudalen Abschnitte aber bewahrt es, entgegen dem Verhalten, das beim Stehhund beobachtet wird, zunächst noch den geradlinigen Verlauf bei, ja biegt sich eher ventral hin vor, so dass eine leichte S-Krümmung zustande kommt. Aus diesen Abweichungen resultiert ein beträchtlicher Unterschied in der Grösse des vom oberen und mittleren Sternumteil gebildeten Winkels: beim Kontrollhund betrug er nur 170°, beim Stehhund dagegen wurde er zu 186° gemessen.



Stehhund. Kontrollhund.

Fig 16. Seitenansicht des Thorax.

Das oben erwähnte stärkere caudalwärts gerichtete Absinken der knöchernen Rippen erstreckte sich bei dem Stehhund nicht auf die craniale Brustkorbpartie. Hier war das gegenteilige Verhalten zu beobachten. So z. B. betrug der Winkel zwischen dem dorsalsten Abschnitt der ersten Rippe und dem cranialen Abschnitt einer Verbindungslinie der Processus transversi beim Kontrollhund 90°, beim Stehhund nur 85°. Die obere Apertur des Thorax war also samt dem Manubrium sterni vorn höher gehoben.

Ausserdem wurden hier noch andere Unterschiede zwischen den beiden Hunden beobachtet. Während der dorso-anteriore Durchmesser der oberen Apertur, von der Wirbelvorderfläche bis zum Manubrium gemessen, bei beiden 3,5 cm maass, wurde der transversale Durch-

messer beim Stehhund zu 3,0 cm, beim Kontrollhund zu 3,5 cm bestimmt. Die Zahlen zeigen, dass beim Stehhund die obere Öffnung des Brustkorbes eine mehr längsovale Form besass, und dass diese Veränderung sowohl durch Verkürzung des transversalen wie durch Verlängerung des sagittalen Durchmessers zustande gekommen sein musste. Der Thorax des Stehhundes erschien also noch mehr von lateral her plattgedrückt, als es der Thorax des Hundes schon an und für sich ist.

Ähnliche Beobachtungen, wie an der oberen, wurden an der unteren Apertur gemacht. Hier wurde der sagittale Längsdurchmesser, vom Processus ensiformis des Brustbeins zur Vorderfläche des entsprechend hochgelegenen Körpers des siebenten Wirbels gerechnet, beim Stehhund etwas grösser gefunden. Der Querdurchmesser maass bei dem ersteren dagegen weniger. Die untere Apertur war hiernach auch im ganzen beim Stehhund relativ grösser. Die vordere Wölbung der Apertur war bei dem aufrecht gehenden Hund oval, bei dem Kontrollhund mehr keilförmig gestaltet. Damit steht in engem Zusammenhange, dass der Angulus infrasternalis bei dem ersteren zu nur 65 °, beim Kontrollhund zu 70 ° gemessen wurde.

Einige Tatsachen könnten zu der Vermutung Anlass geben, es handele sich hier um Veränderungen, die dem Einfluss einer terminalen inspiratorischen Thoraxdehnung zuzuschreiben, also akzessorischen Momenten zu verdanken seien. Wenn nicht schon andere damit unmöglich in Übereinstimmung zu bringende Beobachtungen, z. B. die Knorpelverlängerung, überzeugend dagegen sprächen, würde der Umstand, dass die allmähliche Ausbildung der wesentlichsten der beschriebenen Veränderungen an den Röntgenbildern verfolgt werden konnte, dies tun. Andererseits aber hat sicherlich die Thoraxdeformation Veränderungen in der Topographie der Lungen infolge der wechselseitigen Abhängigkeit von Thorax und Thoraxinhalt nach sich gezogen. Ich schliesse deshalb deren Beschreibung hier an.

Die diesbezügliche Untersuchung der Lungen wurde an den in Alkohol-Formalin gehärteten Präparaten vorgenommen, wobei die Lungen durch Entfernung der Interkostalmuskeln zur Anschauung gebracht wurden. Die Figuren 17 und 18 geben ein Bild hiervon. Wegen der schlechteren Beleuchtung der tiefer liegenden Lungenpartien trat der genaue Verlauf der Lungenlappengrenzen auf der Kopie nicht überall deutlich zutage. Ich habe deshalb die Ab-

bildungen durch die Einzeichnung der Grenzlinien verständlicher gemacht.

Bei dem Kontrollhund, von dem erst die Rede sein soll, lag die rechte Lungenspitze gegenüber der Mitte des horizontal verlaufenden Körpers der ersten Rippe, mit ihrem höchsten Punkte kaudal von dem kaudalen Rande dieser Rippe. Der vordere Rand

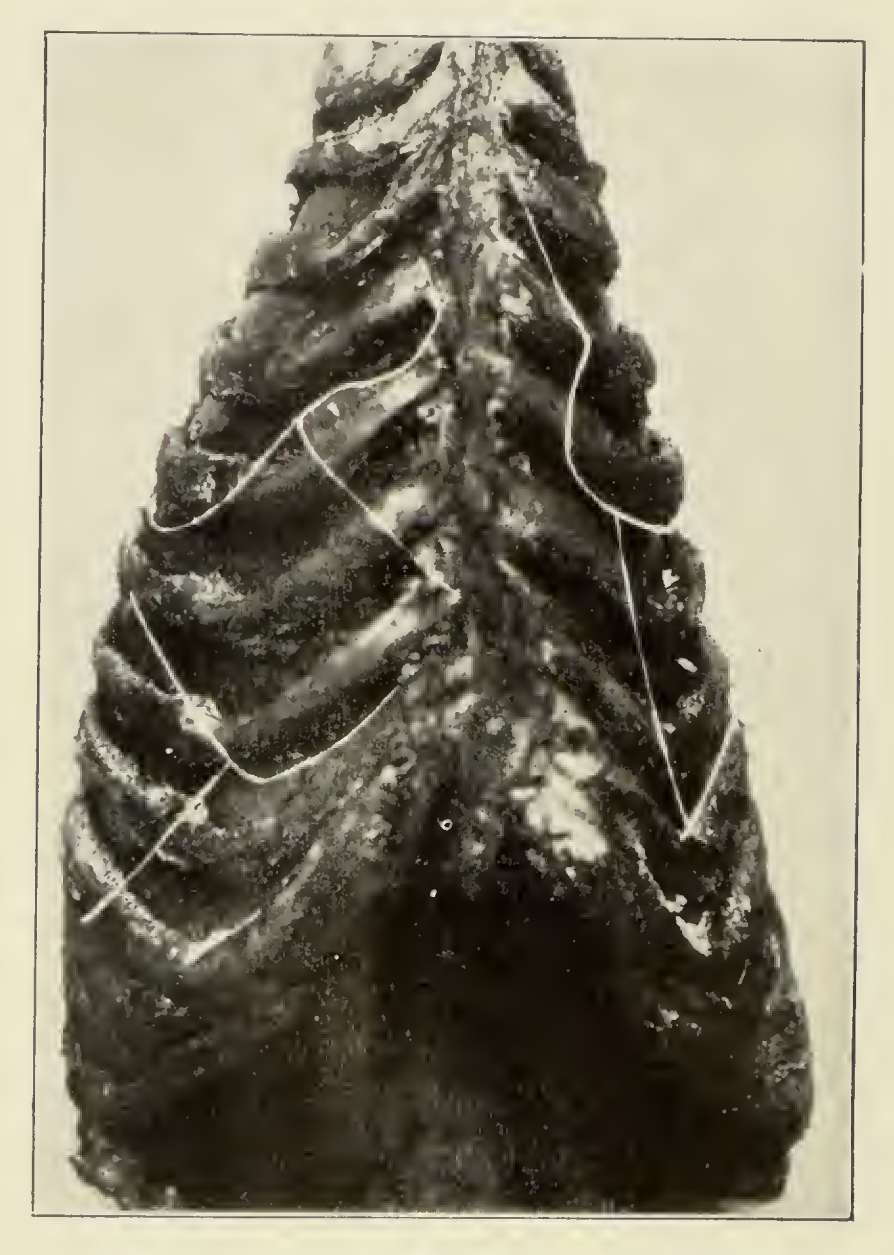


Fig. 17. Lungentopographie beim Stehhund.

des Oberlappens zog von da zur Mitte der Sternalbegrenzung des rechten dritten interkostalraumes, bog dann scharf um und verlief nach hinten zur Grenze zwischen dorsalem und mittlerem Drittel des horizontal verlaufenden Körpers der sechsten Rippe.

In der Mitte des vierten Interkostalraumes kam unter dem rechten Oberlappen der Mittellappen vor. Sein vorderer Rand ging nach vorn bis zur Mitte des sechsten Rippenknorpels, wendete sich hier, einen Winkel von 60° bildend, nach unten und hinten bis 1 cm

dorsal von der Knochenknorpelgrenze der siebenten Rippe und folgte dann dem unteren Rande dieser Rippe. Der vordere Rand des dorsal vom zweiten Lappen gelegenen Unterlappens bildete die direkte Fortsetzung der anterioren Kante des Mittellappens. Sein kaudales Ende lag wirbelsäulenwärts am unteren Rande der zehnten Rippe.

Nach vorn vom vorderen und unteren Rande des rechten Mittel- und Unterlappens wurde die äussere Zwerchfellwölbung, in dem

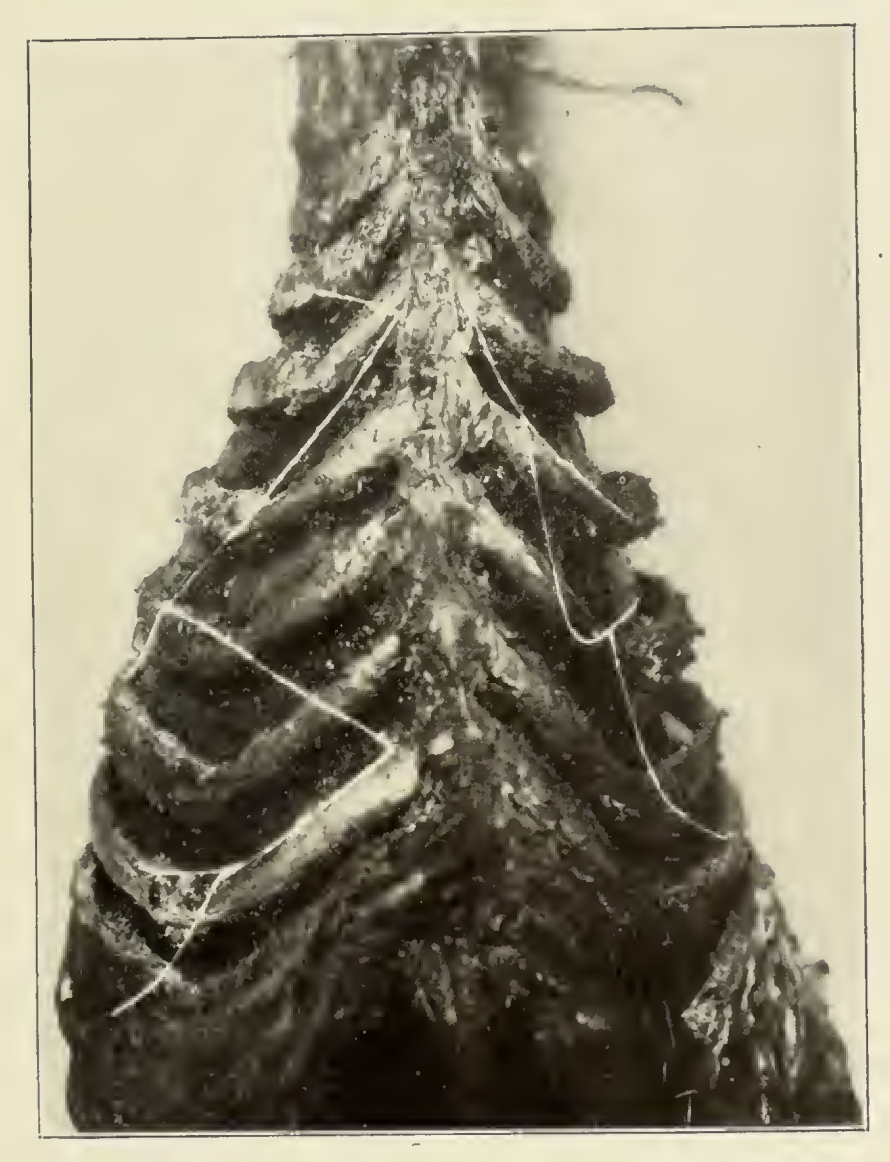


Fig 18. Lungentopographie beim Kontrollhund.

zwischen dem vorderen Rande des Ober- und dem kranialen Rande des Mittellappens frei werdenden Raume das Herz sichtbar.

In dem l i n k e n Thoraxraum stand die Lungenspitze am linken Sternalrand in der halben Höhe der ersten Rippe. Von da an bog der nach vorn leicht konvexe vordere Bogen des Oberlappens bis zur Mitte der Knochenknorpelgrenze der vierten und fünften Rippe hin, wendete sich dann in fast rechtem Winkel nach hinten bis zur halben Höhe des Köpfchens der vierten Rippe. Ungefähr 1 cm

weiter dorsalwärts erschien hinter dem Oberlappen der Unterlappen, dessen vordere Kante die vordere Biegung des Oberlappenrandes bis zu der achten Rippe fortsetzte.

Kranial von der fünften Rippe wurde das Herz, kaudal von ihr das Zwerchfell sichtbar.

Beim Stehhund befand sich die rechte Lungenspitze gegenüber dem oberen Rande des Knorpelknochenbuckels der ersten Rippe. Die vordere Kante lief am rechten Sternalrand entlang bis zur Mitte des vierten Interkostalraumes, bog dann im rechten Winkel dorsalwärts um bis zum oberen Rippenrande in der Mitte des Knochenbogens der sechsten Rippe, wo der Mittellappen unter dem Oberlappen zum Vorschein kam. Dessen kaudale Kante behielt die Richtung des hinteren Oberlappenrandes bis zum kaudalen Ende der Knorpelknochengrenze der siebenten Rippe bei, seine Vorderkante aber erstreckte sich, dem hinteren Rande parallel, von der vierten Rippe bis zur sternalen Anheftung der sechsten Rippe hin. Unter den beiden genannten Lappen und kaudal von ihnen kam der Unterlappen hervor, dessen kaudale Grenze sich parallel zur Richtung der kaudalen Oberlappenkante hielt und sich so von der Knorpelknochengrenze der siebenten Rippe nach hinten bis zum kranialen Rande des Köpfchens der elften Rippe hin erstreckte.

In dem von Ober- und Mittellappen freigelassenen Raum lag das Herz vor, kaudal vom mittleren und unteren Lungenlappen sah man nur Zwerchfell.

Die linke Lungenspitze des Stehhundes reichte nur bis zur mittleren Höhe des Knorpelknochenwulstes der zweiten Rippe, stand also tiefer als der rechte Apex. Der mediane Bogen verlief hinter den Knorpelansätzen der zweiten bis sechsten Rippe — mit einer Einbuchtung an der vierten Rippe — bis zur Knorpelknochengrenze der sechsten Rippe. Der kaudale Lappenrand schlug dann eine Richtung ein, die etwa einer von diesem Punkte bis zum hinteren Gelenkansatz der fünften Rippe gezogenen Geraden entspricht. Am Köpfchen der fünften Rippe bildeten die obere und untere hintere Kante des Oberlappens einen Winkel von 75 ^{0}. Der linke Unterlappen reichte nach vorn bis 1 cm hinter der Knorpelansatzlinie des siebenten Interkostalraumes, nach hinten mit dem unteren Pol bis zur hinteren Gelenkverbindung der zehnten Rippe. Der kaudale Rand des linken Unterlappens wurde durch die Verbindungslinie der beiden genannten Punkte bestimmt.

Kranial von der Mitte des sechsten Interkostalraumes lag das Herz, kaudal das Zwerchfell vor.

Vergleicht man die hier gegebenen topographischen Notizen, so ergibt sich ohne weiteres, dass beim Stehhund die linke Lunge viel weniger weit kranialwärts hinaufreicht, dass ferner bei ihm rechts der Herzbeutel mehr von der Lunge überdeckt ist und nur an der fünften Rippe sehr wenig vom Herzen zum Vorschein kommt, links dagegen umgekehrt das Herz an der Inzisur des medianen Randes des Oberlappens in

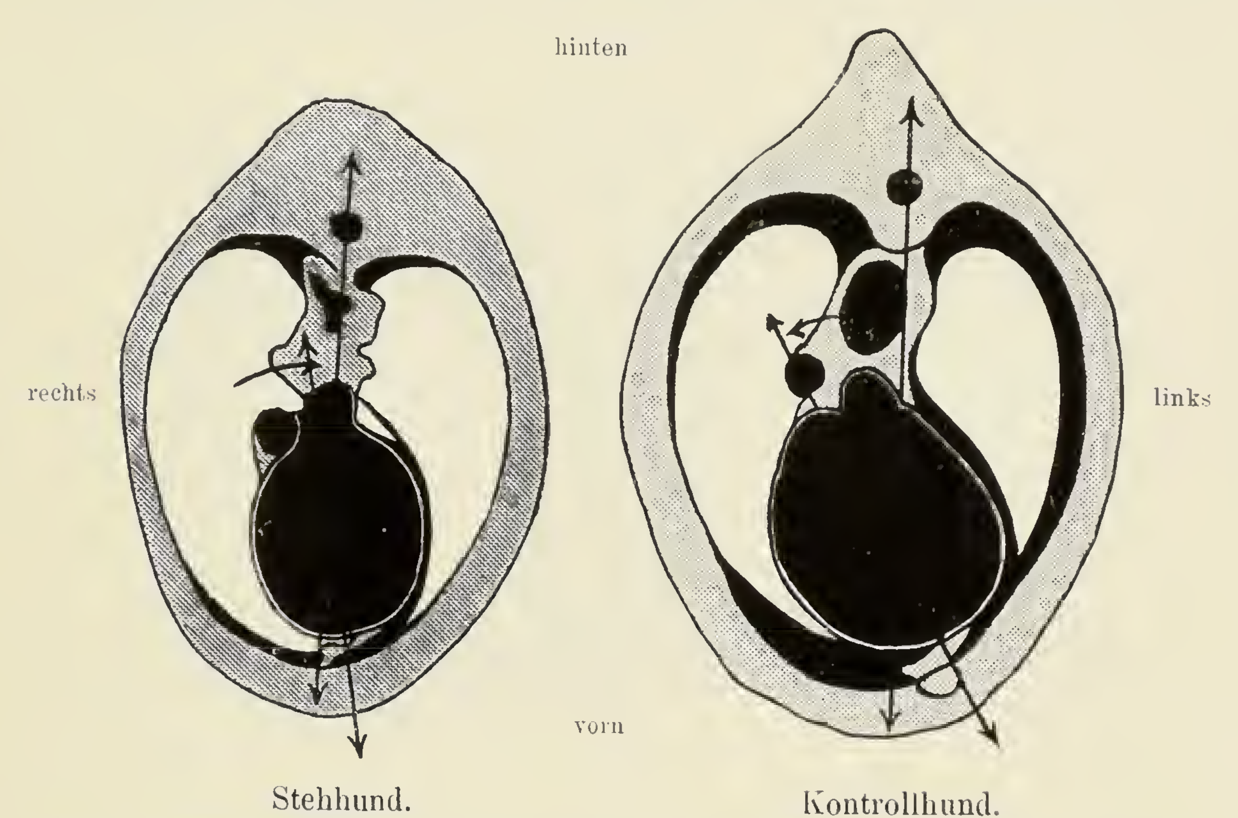


Fig. 19. Schema, die Richtung der maassgebenden Kräfte (Herz) veranschaulichend. Thoraxquerschnitt in der Höhe der sechsten Rippe (kaudale Hälfte).

grösserem Umfange frei liegt, während beim Kontrollhund das Herz gleich weit von der rechten und linken Thoraxwand entfernt, also medial gelagert ist.

Es ist diesen Beobachtungen noch hinzuzufügen, dass das Herz des aufrechtgehenden Hundes auch beträchtlich tiefer kaudalwärts stand. Beim Kontrollhund wurde die Herzspitze zwischen fünfter und sechster Rippe, beim Stehhund aber einen ganzen Interkostalraum tiefer gefunden. Diese Senkung betraf das ganze Herz; denn nach oben reichte es bei dem ersteren bis zur Höhe der dritten Rippe, beim Stehhund einen halben Interkostalraum weniger hoch hinauf.

Bei diesen Lageverschiebungen des Herzens hatte auch eine Drehung um die vertikale Achse stattgefunden. Während

das Herz des Kontrollhundes mit seiner Vorderfläche von der inneren Thoraxwandung überall, links und rechts, gleichweit ab lag — es lag ihr auch im ganzen näher — lag beim Stehhund der rechte Ventrikel mehr ventral vor, so dass die Herzspitze hier relativ mehr dorsalwärts zurücktrat, aber nicht um so viel, dass sie absolut weiter als die des Kontrollhundes dorsal zurückgelegen hätte.

Genauerer Aufschluss über die Höhenlage und Achsendrehung des Herzens wurde aus Thoraxquerschnitten gewonnen. An den gehärteten Leichen wurde zunächst, um einen möglichst grossen Teil der Herzmuskelmasse zu treffen, in der Höhe des sechsten Inter-



Fig. 20. Thoraxquerschnitt im sechsten Interkostalraum (an Sternum und Wirbelsäule dicht an der sechsten Rippe). Ansicht der kranialen Fläche.

kostalraumes, an Brustbein und Wirbelsäule dicht kaudal von der sechsten Rippe[1]), ein Querschnitt gelegt, den Figur 19 in der unveränderten Anordnung schematisch gezeichnet, Figur 20 nur bezüglich des Thoraxinhaltes, aber mit photographischer Treue zur Anschauung bringt. Da die Blutgefässe und das Herz während der Schnittführung mit geronnenem Blute vollständig fest ausgefüllt waren, stellen die letzteren Abbildungen den Situs korrekt dar. — Ein zweiter Schnitt wurde im dritten Interkostalraum, direkt kaudal von der dritten Rippe, geführt. Hierüber orientiert Figur 21, vor deren

1) Der Schnitt ging beim Kontrollhund infolge eines Versehens links einen halben Interkostalraum weiter kranial hinauf.

Herstellung ebenfalls, wie das bei Figur 20 geschehen war, die Blutgefässe von dem sie ausfüllenden Gerinnsel vorsichtig befreit worden waren.

Auf dem ersten Schnitt (sechster Interkostalraum, Fig. 20) sind rechter und linker Ventrikel zu sehen. Es ist daran leicht zu erkennen, dass der Schnitt beim aufrechtgehenden Hund durch eine etwas weiter kranial gelegene Partie geht. Das Herz steht also bei ihm, da bei den beiden Hunden der Schnitt in der gleichen Thoraxhöhe geführt worden war, in der Höhe des Abganges der Aorta tiefer.



Fig. 21. Thoraxquerschnitt im dritten Interkostalraum, dicht an der dritten Rippe. Ansicht der kaudalen Fläche.

Auf dem weiter kranial geführten Querschnitt (Fig. 21) — es ist hier der rechte Vorhof getroffen — treten deutlichere Unterschiede zwischen den beiden Hunden zutage. Auch hier ist vor allem zu beobachten, dass der Schnitt beim Stehhund einen weiter kranialwärts gelegenen Abschnitt getroffen hat, so dass also auch an der Basis mit dieser Methode der Nachweis geführt worden ist, dass das Herz des Stehhundes tiefer stand als das des Kontrollhundes.

An den Schnittbildern ist weiterhin zu beobachten, dass beim Stehhund der grösste Teil des Herzens links vom dorso-ventralen Thoraxdurchmesser, beim Kontrollhund dagegen rechts davon, bzw. in der Mitte liegt, und während beim Kontrollhund der Längsdurchmesser des vom Schnitt getroffenen Herzmuskelovals schräg von

rechts hinten nach links vorn verläuft, ist dieser Durchmesser beim Stehhund fast in die Richtung des sterno-vertebralen Thoraxdurchmessers eingestellt. Es hat also das Herz beim Stehhund nicht nur eine Verschiebung von rechts nach links erfahren, sondern sich auch um seine kranio-kaudale Achse gedreht, wobei es mit der Dorsalfläche um einen grösseren Betrag als mit der ventralen nach links hin rückte.

Diese Drehung hatte auch eine Änderung in der Richtung des beim Hunde relativ straffen und unnachgiebigen hinteren Mediastinums zur Folge (vgl. Fig. 19); denn während dieses beim

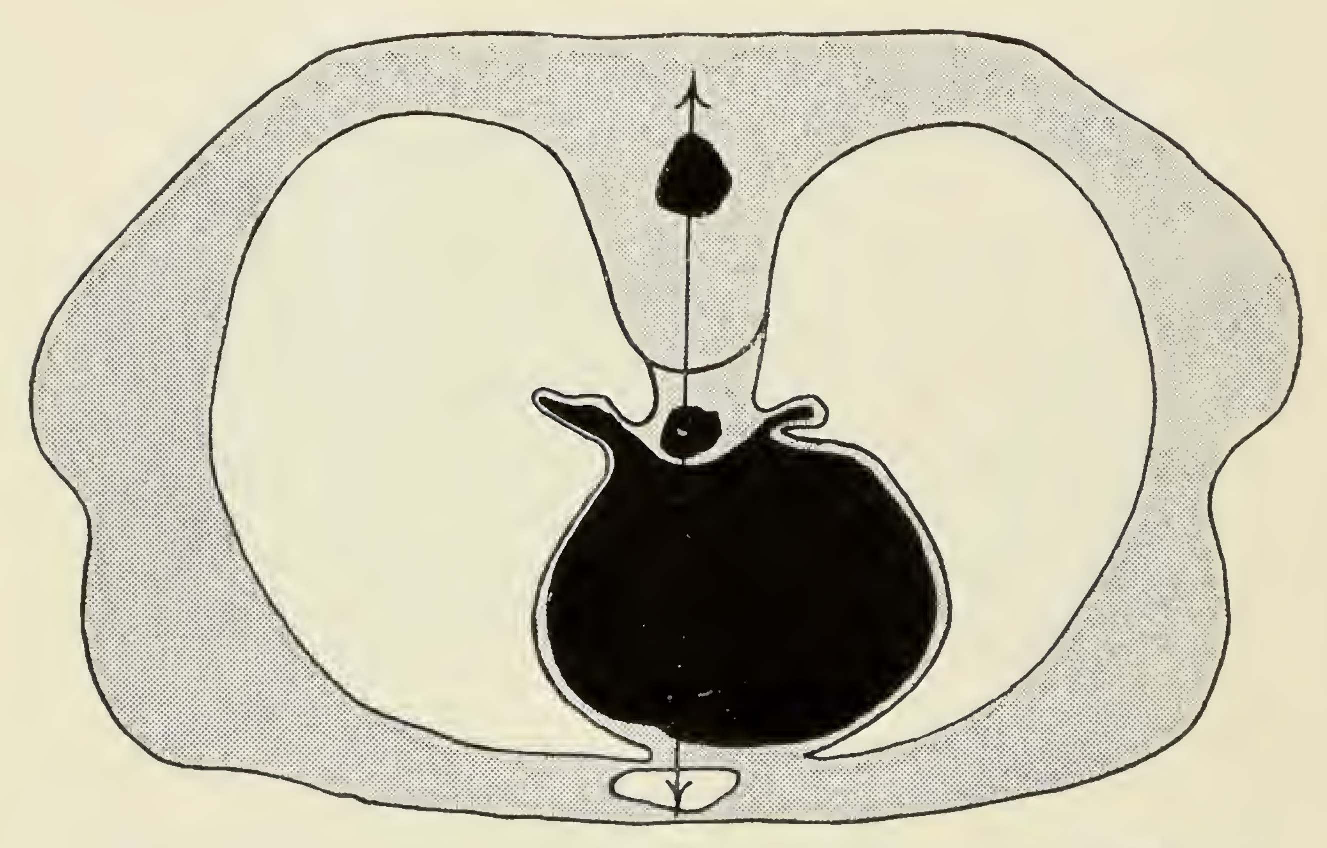


Fig. 22. Schematischer Horizontalschnitt durch den Thorax des Menschen.

Kontrollhund von links hinten nach rechts vorn verläuft, steht es beim Stehhund in der Richtung des Sterno-vertebral-Durchmessers.

Die eben besprochenen Querschnitte lassen noch eine Kontrolle früherer Beobachtungen über die Form des knöchernen Thorax zu, die ich nicht übergehen möchte. Die Ausmessung der grössten Durchmesser der kaudal von der sechsten Rippe gelegenen Thoraxhälfte ergab für das Verhältnis des grössten dorso-ventralen Durchmessers — von der Mitte des Wirbelkanales bis zur Innenfläche des Brustbeines gemessen — zum grössten Querdurchmesser beim Stehhund eine Proportion von $\frac{100}{82,5}$, beim Kontrollhund eine solche von $\frac{100}{85}$,

was wiederum besagt, dass der Brustkorb des aufrechtgehenden Hundes relativ schmäler war als der des Kontrollhundes. Vergleicht man damit die Konfiguration des Querschnittes eines menschlichen Thorax, die ich in Fig. 22 nach Toldt[1]) schematisiert wiedergebe, so ergibt sich ohne weiteres — hier ist das Verhältnis der Durchmesser $\frac{100}{164}$ —, dass die Veränderung der Querschnittsform des aufrecht gestellten Hundes in einer der phylogenetischen Entwicklung entgegengesetzten Richtung vor sich ging.

Zum Verständnis der oben besprochenen Lageveränderungen des Herzens und der Lungen ist es notwendig, sich über den Stand des Zwerchfells zu orientieren.

Die Zwerchfellkuppe befand sich beim Stehhund (Präparat) gegenüber dem Ansatz der sechsten Rippe, beim Kontrollhund etwas höher, zwischen dem der fünften und sechsten Rippe. Gleichzeitig liess sich feststellen, dass die ventrale Zwerchfellpartie beim Stehhund flacher gewölbt war als bei dem Kontrollhund, wo sie steiler nach vorn abfiel. Dieses Verhalten ist auch an den Röntgenbildern Fig. 8 und 9, die im übrigen mit den Figuren 6 und 7 zusammen eine gute Übersicht über Stand und Form des Zwerchfells geben und noch auf einige Eigentümlichkeiten aufmerksam machen, zu erkennen. Man beobachtet hier auf den ersteren, bei transversalem Strahlengang angefertigten Aufnahmen, dass das Zwerchfell im Sagittalschnitt beim Stehhund die normale gleichmässige kranial konvexe Wölbung vermissen lässt und in der Mitte eine kaudal gerichtete Eindellung aufweist. Die Konsequenz hiervon ist eine Vergrösserung der Winkel, die das Zwerchfell mit der Thoraxkontur bildet. Die Abplattung der Zwerchfellfläche, deren höchste Kuppe beim Stehhund auch dorsalwärts verschoben erscheint, lässt sich auch an den ventrodorsalen Bildern Fig. 6 und 7 (Frontalschnitt) erkennen. Die Kuppe ist hier beim Kontrollhund deutlich höher, der Abfall nach den lateralen Seiten hin steiler als beim Stehhund. Daraus leitet sich ungezwungen folgende Ätiologie ab. Beim Kontrollhund lastet ein vom Abdomen her kommender Druck auf der ventralen unteren Thoraxpartie, der das Zwerchfell dort in den Thorax hinein vorzuwölben strebt und die Zwerchfellkuppe beim Vierfüssergang boden-

---

1) C. Toldt, Anatom. Atlas, 2. Aufl., 4. Lieferung, S. 455 Nr. 774. Berlin und Wien 1900.

wärts hin verlagert (Fig. 23). Wird der Rumpf aufgerichtet, so fällt dieser Druck weg; der Zug der abdominalen Organe, hauptsächlich der Leber, zieht das Zwerchfell herab. Hierdurch und durch den mehr in der Mitte des Zwerchfells angreifenden Druck der thorakalen Eingeweide kommt ausserdem eine Abflachung des Zwerchfells und lateral eine bessere, ventral und dorsal eine geringere kranial konvexe Wölbung desselben zustande. Durch die grössere Abschüssigkeit der vorderen Zwerchfellpartie ist nun dem tiefer tretenden Herzen des aufrechtgehenden Hundes die Möglichkeit und Tendenz gegeben, nach ventral

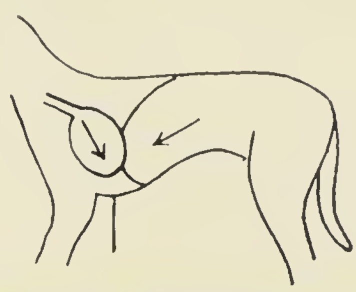


Fig. 23. Schema, die Richtung der beim Vierfüsser maassgebenden Kräfte (Herz- und Abdominalorgane) andeutend.

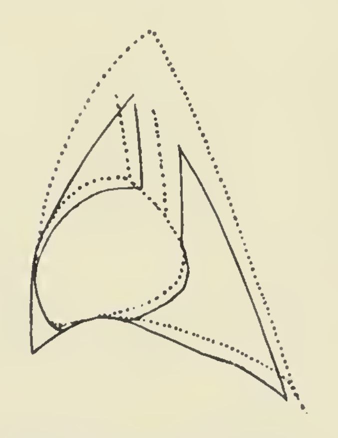


Fig. 24. Sagittalschnitt des Thorax. (Fig. 8 u. 9.)
—— = Stehhund.
· · · = Kontrollhund.

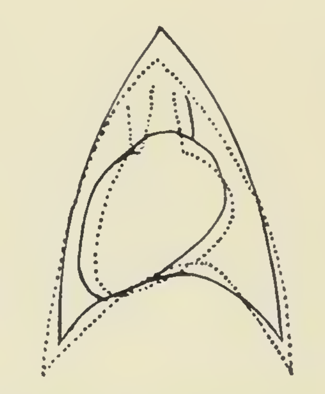
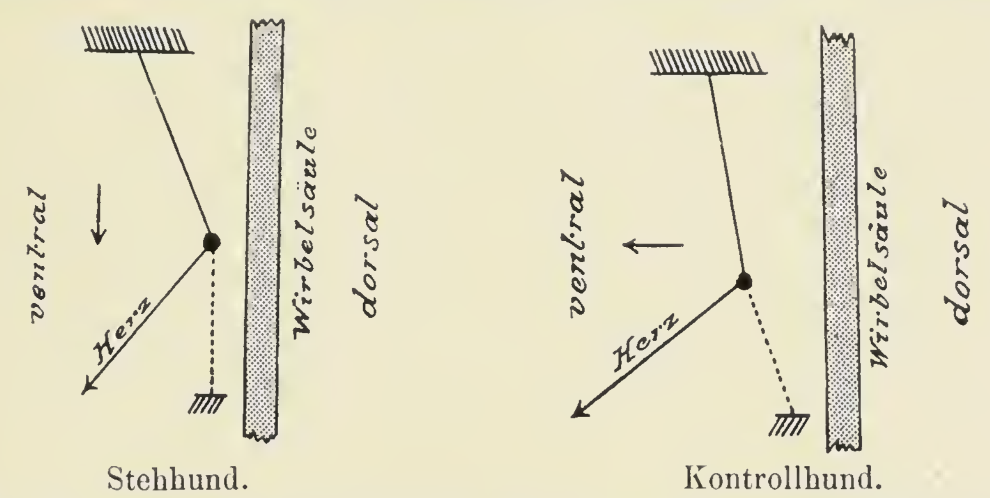


Fig. 25. Frontalschnitt des Thorax. (Fig. 6 u. 7.)
—— = Stehhund.
· · · = Kontrollhund.

und links hin abzusinken. Beim Vierfüssergang hingegen fällt das Herz nach der Mitte der Vorderfläche in die enge ventrale Thoraxwölbung hinein. Dieses ventrale Abfallen des Herzens zieht noch Folgen nach sich. Auf den seitlich aufgenommenen Röntgenbildern (Fig. 8 und 9) — vgl. auch für die folgenden Erörterungen Fig. 24 und 25, bei denen die verschiedenen Formationen der beiden Hunde nach den Figuren 6—9 in je einem Schema zum besseren Vergleich zusammen gezeichnet sind — sieht man, dass der von der Mitte der dorsalen Herzkonvexität nach dem dorsalen Zwerchfellansatz verlaufende streifenförmige „Gefäss“-Schatten beim Kontrollhund kaudalwärts etwas zur Wirbelsäule hin konvergiert, während

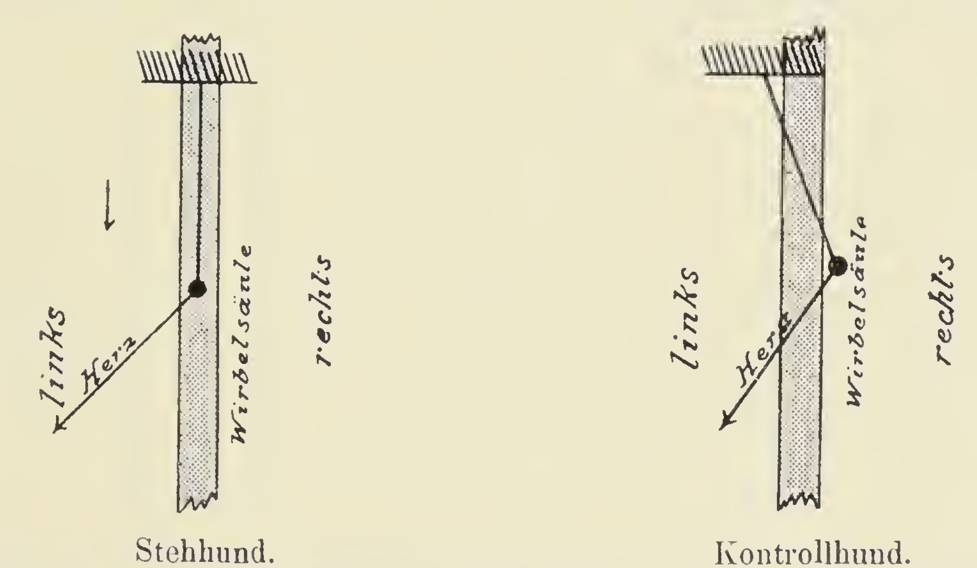
er beim Stehhund in entgegengesetzt gerichteten Verlauf zu ihr tritt, sich also kranial der Wirbelsäule nähert bzw. im allgemeinen parallel zu ihr verläuft. Am klarsten wird die Richtung der das Herz fixierenden bzw. an ihm fixierten Züge aus den schematischen Zeichnungen Fig. 26 und 27 erkannt werden können, da diese nur



Stehhund. Kontrollhund.

Fig. 26. Schema der Richtung der die Herzlage bestimmenden Kräfte. (Sagittalschnitt, Fig. 8 und 9.)

die für die Mechanik der Herzlage notwendigsten Dinge angeben und auf ihnen die beiden kranial und kaudal gelegenen fixen Punkte markiert sind. Vor allem wird man auch sofort einsehen, dass aus dem ventralen, der Schwere entsprechenden Absinken des Herzens beim Vierfüssergang der Winkel, den das kraniale Schattenband mit



Stehhund. Kontrollhund.

Fig. 27. Schema der Richtung der die Herzlage bestimmenden Kräfte. (Frontalschnitt, Fig. 6 und 7.)

der kranialen Herzkontur bildet, grösser werden muss. In der Tat war es beim Kontrollhund ein rechter, beim Stehhund dagegen ein spitzer Winkel.

Bezüglich der Grösse des Herzens ergab sich aus dem hier behandelten Material (vgl. die Röntgenbilder Fig. 6—9), dass

das Herz des Stehhundes im Längsdurchmesser grösser, im Breitendurchmesser kleiner war. Die gesamte Herzschattenfläche war grösser. Es ist offensichtlich, dass die Ergebnisse der Flächenausmessung unter den hier vorliegenden Umständen für die Feststellung der tatsächlichen Grösse des Herzens nur mit Vorsicht verwendet werden können, da ja eine Drehung des Herzens um seinen Aufhängepunkt an dem Eintritt der Vena cava superior, der Aorta und Arteria pulmonalis stattgefunden hatte. Ich habe deshalb an dem Querschnitt eine Kontrolle vorgenommen. Es zeigte sich hierbei, dass die Muskulatur der linken Kammer beim Stehhund relativ stärker war als bei dem Kontrollhund. Diese Hypertrophie des Herzens des aufrechtgehenden Hundes erklärt sich leicht aus der grösseren Arbeitsleistung dieses Hundes und den vermehrten Anforderungen, die bei aufrechter Körperstellung an den Kreislauf gestellt werden.

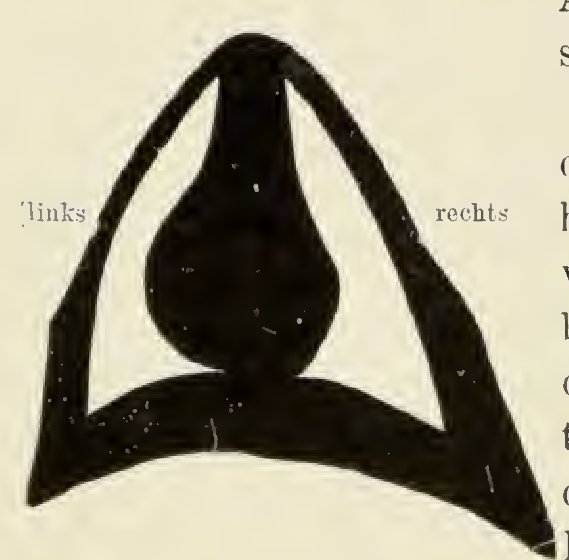


Fig. 28. Thorax-Röntgenbild vom Stehhund (48. Lebenstag). (Ventro-dorsale Aufnahme.)

Auch für die allmähliche Genese der an Zwerchfell und Herz des Stehhundes aufgetretenen Modifikationen wurde durch die Kontrolle am Röntgenbild der sichere Nachweis geführt. Auf den der Zeit vom 40. bis 48. Lebenstage, in welcher sechs Aufnahmen von den Hunden in verschiedenen Durchleuchtungsrichtungen angefertigt wurden, angehörenden Röntgenbildern — vgl. Fig. 28 — war bezüglich des Zwerchfellstandes und der Herzlage noch gar keine Differenz zwischen den Hunden wahrzunehmen, und auch am 107. Lebenstage war das Herz des Stehhundes noch kaum merklich nach links hin herabgesunken.

Was nun die Erklärung der eigenartigen und wohl unerwarteten Transformation des Thorax des aufrechtgestellten Hundes angeht, so erscheint es mir auch hier überflüssig, mich in eine Kritik der für die vorausgesetzte mechanische Ätiologie der Umgestaltung des Vierfüsserthorax in die menschliche Form geltend gemachten illusorischen Anschauungen einzulassen, und ich werde versuchen, lediglich die Mechanik der tatsächlich gefundenen Modifikationen zu entwickeln. Es ist nicht schwer, auch hier am Thorax in der Schwerewirkung den maassgebendsten Faktor zu erkennen. Steht der Hund

aufrecht, so ist die Schwerkraft notwendig in der Art wirksam, dass sie eine laterale Kompression des beim Vierfüssergang ventral gedehnten Thorax und damit die beobachtete Rippensenkung und Verlängerung des Sterno-vertebral-Durchmessers herbeizuführen strebt. Ein zweites wirksames Moment ist die Reklination der Wirbelsäule. Wird die Wirbelsäule aus der dorsal konvexen Krümmung des Vierfüssers in die gestreckte Form des aufrechtgehenden Hundes gebracht, so werden die Rippen gehoben, und zwar rückt vorn das obere Rippenende ventral und kranial hin. Hierdurch wird die normale Rückbiegung des Manubrium sterni (vgl. Fig. 16) aufgehoben und einer durch die Schwere erstrebten Senkung des oberen Thorax wirksam entgegengearbeitet. Im kaudalen Thoraxabschnitt erfährt umgekehrt die seitliche Krümmung der Rippen eine Tendenz zur ventralen und kranialen Ausbiegung, die ihrerseits den kaudalen Sternumabschnitt dorsalwärts zu ziehen und die normale Keilform des vorderen Teiles der unteren Apertur in eine mehr ovale Form zu bringen sucht. Es ist also sowohl die Transformation des Brustkorbes in die schmale Form, wie die geringere Neigung des Sternums gegen die obere Wirbelsäule und seine Geradestreckung, ferner die Hebung des Sternums und der oberen Apertur, die Senkung der unteren Rippen und die Umformung der unteren Apertur des Stehhundes m. E. durchaus verständlich.

Es ergibt sich ohne weiteres, dass bei der Genese der menschlichen Form des Thorax das Wachstum in einer Richtung sich bewegt, die der durch die mechanischen Einflüsse der Vertikalstellung erstrebten gerade entgegengesetzt ist. Freilich wird auch beim Kinde, das die aufrechte Stellung gewinnt, in der Hauptsache die gleiche Mechanik sich geltend machen, die wir hier aus ihren Folgen ableiteten. Diese Momente sind aber nicht stark genug, um für die typische Gestaltung des menschlichen Brustkorbes verantwortlich gemacht werden zu können. Es ist auch m. E. unstatthaft, sie für die phylogenetische Entwicklung des menschlichen Thorax heranzuziehen, obwohl dem Klettern — als Übergangsstadium vom Vierfüssergang zum aufrechten Gang betrachtet — eine gewisse ätiologische Bedeutung nicht wohl abgesprochen werden kann (Zuntz). Die onto- und phylogenetische Bildung der menschlichen Thoraxform tritt nach den hier gemachten Beobachtungen in Parallele zu den Erscheinungen des artspezifischen Anwuchses, der Differenz, die in

der Körperform, der Organgrösse und ähnlichem zwischen den einzelnen Tieren beobachtet wird, und für deren Genese uns auch vorläufig jedes Verständnis fehlt.

Abdomen.

Bei der Autopsie, die unter den schon früher (S. 27) angeführten Kautelen vorgenommen wurde, wurde zunächst hinsichtlich der Leber beobachtet, dass beim Kontrollhund — s. Fig. 30 — die Leber kaudalwärts bis 2 cm oberhalb des untersten Rippenbogens herabreichte. Beim Stehhund lag dagegen der untere Leberpol (rechter Leberlappen) — vgl. Fig. 29 — 1 cm unter dem untersten Rippenbogenpol. Aus den Autopsiebildern ersieht man auch, dass die Leber des aufrecht gehenden Hundes weit mehr vorlag als die des Kontrollhundes und zwar in einem Betrag, der einen inspiratorisch möglichen Tiefstand um ein Erhebliches übersteigt. Die Leber des Stehhundes war zudem sehr verschieblich, was beim Kontrolltier nicht der Fall war. Es war demnach bei dem Stehhund ein ausgesprochenes Hepar migrans vorhanden.

Aus den Röntgenbildern ist noch eine Lageabweichung zu ersehen, die am unveränderten Situs nicht zu beobachten war. In diesen Figuren (Fig. 8 und 9) bzw. auf den Originalplatten beobachtet man bei den beiden Hunden eine Verschiedenheit der kranialen Leberkonvexität, aus deren charakteristischen Formen ohne Schwierigkeit zu ersehen ist, dass die Leber beim Stehhund sowohl eine Kantendrehung in dem Sinne, dass sie sich um ihre transversale Achse ventralwärts kranial, dorsalwärts in kaudaler Richtung bewegte, vollführte, wie auch in dorso-ventraler Richtung (kranial konvex) zusammengebogen wurde, Veränderungen, die die Senkung der Leber noch bedeutender erscheinen lassen, als es schon aus der Beobachtung am Situs hervorging.

Ähnliche Beobachtungen wie an der Leber wurden am Magen gemacht. In Fig. 30 sieht man allerdings beim Kontrollhund einen weit grösseren Abschnitt des Magens unter der Leber vorkommen als beim Stehhund. Nichtsdestoweniger stand bei dem letzteren der Magen absolut tiefer; denn er reichte z. B. mit der grossen Kurvatur bei beiden Hunden bis zur Höhe des kaudalen Poles des linken Leberlappens. Es war also vorn die Leber beim aufrecht gehenden Hund stärker herabgetreten als der Magen.

Bei dem Kontrollhund wurde der kraniale Pol der rechten Niere von der Leber verdeckt; der kaudale Pol stand in der



Fig. 29. Situs der Baucheingeweide beim Stehhund.



Fig. 30. Situs der Baucheingeweide beim Kontrollhund.

Höhe des kaudalen Leberrandes. Bei der linken Niere wurde der kraniale Pol in der Höhe des linken kaudalen Leberlappens angetroffen. Die linke Niere stand also normalerweise tiefer als die rechte.

Beim Stehhund befand sich der kaudale Pol der rechten Niere, deren Vorderfläche zu zwei Dritteln von der Leber verdeckt wurde, 2,8 cm kaudalwärts vom oben genannten, vorliegenden Leberpol. Die rechte Niere lag also, nach der Leberlage beurteilt, beim Stehhund tiefer als beim Kontrollhund. Der kaudale Pol der linken Niere war 3,8 cm kaudalwärts vom untersten Pol des linken Leberlappens gelegen; ihr kranialer Pol schnitt mit dem kaudalen Pol des linken Leberlappens ab. Die linke Niere lag also auch, entsprechend dem normalen Verhalten, tiefer als die rechte und in der normalen Höhe zur Leber. Daraus folgt, dass auch die Nieren beim Stehhund tiefer getreten waren. Da die Nieren nun bei dem aufrechtgehenden Hund auch erheblich besser verschieblich waren — das war besonders bei der linken Niere des Stehhundes der Fall — kann wohl bei der Abwesenheit anderer in Betracht kommender ätiologischer Momente, wie entsprechende Unterschiede im Fettpolster, kein Zweifel sein, dass durch den Einfluss der aufrechten Körperstellung ein Zustand hervorgerufen wurde, der der Wanderniere des Menschen im Prinzip entspricht. Während diese aber stets die rechte Niere betrifft, hatte sich beim Hunde die bedeutendste Veränderung an der linken herausgebildet.

Die Milz lag (vgl. Fig. 30) beim Kontrollhund ventral vor, beim Stehhund weiter dorsal zurück. Auf diesen Unterschied ist, obwohl er vom Gesichtspunkte der differierenden Körperstellung leicht verständlich ist, mit Rücksicht auf die lose Befestigung des Organs wohl wenig Wert zu legen. Ein Tiefstand der Milz des Stehhundes war unter diesen Umständen nicht nachweisbar.

Sowohl Leber als Magen und Nieren weisen also bei dem unter dem Einfluss der aufrechten Körperstellung gestandenen Hund eine Differenz gegenüber dem normalen Tier in der Art auf, dass diese Organe sich an ihrer Anheftungsstelle lockerten und tiefer traten.

Mit der Senkung der abdominalen Organe bei der aufrechten Position hängt ein Unterschied in der Abdomensilhouette zusammen, der zwischen den beiden Hunden von der 18. Lebenswoche an zu beobachten war und darin bestand, dass das Abdomen des Stehhundes in seiner unteren Partie stärker vorgewölbt

war. Die ventrale Vorbuchtung der Regio-meso-hypogastrica war an dem Hund viel eklatanter zu sehen, als die Photographien aus der letzten Zeit (Fig. 2 und 3) erkennen lassen. Es handelt sich hier zweifellos auch um eine auf Rechnung der aufrechten Stellung zu setzende Erscheinung.

Eine Gewichtsvermehrung der abdominalen Organe, an die wegen der stärkeren Durchblutung dieser Organe gedacht werden könnte, trat nicht ein; denn die Niere z. B. wog bei dem Kontrollhund 0,34 g, bei dem Stehhund 0,33 g pro 100 g Körpergewicht, also nur ebensoviel.





